

Einfluss von Hitzestress auf Parameter der Reproduktion, Thermoregulation und das Verhalten männlicher Lamas (*Lama glama*) unter Berücksichtigung der Bewollung der Tiere

ANJA SCHWALM



INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2006

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2006

© 2006 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



VVB LAUFERSWEILER VERLAG
édition scientifique

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Aus dem Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. G. Erhardt

**Einfluss von Hitzestress auf Parameter der Reproduktion,
Thermoregulation und das Verhalten männlicher
Lamas (*Lama glama*) unter Berücksichtigung
der Bewollung der Tiere**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

ANJA SCHWALM

Tierärztin aus Heidelberg

Gießen, 2006

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. M. Reinacher

Gutachter:

Prof. Dr. G. Erhardt
Prof. Dr. M. Bergmann

Tag der Disputation:

10.07.2006

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen	- VI -
Verzeichnis der Tabellen	- IX -
Abkürzungsverzeichnis	- XI -
1 Einleitung	- 1 -
2 Literaturübersicht	- 3 -
2.1 Zoologische Grundlagen und Evolution	- 3 -
2.1.1 Taxonomie	- 3 -
2.1.2 Verbreitung und Nutzung der Neuweltkameliden	- 4 -
2.2 Thermoregulation	- 5 -
2.2.1 Physiologie der Thermoregulation	- 5 -
2.2.1.1 Einfluss der Bewollung auf die Thermoregulation	- 9 -
2.2.1.2 Thermoregulation durch Verhalten	- 10 -
2.2.1.3 Hitzestress	- 11 -
2.2.2 Bewertung der Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Infrarotthermographie	- 12 -
2.3 Verhalten	- 13 -
2.3.1 Verhalten von Neuweltkameliden auf der Weide	- 13 -
2.3.2 Einfluss von Klimafaktoren	- 14 -
2.3.2.1 Temperatur	- 14 -
2.3.2.2 Niederschlag	- 14 -
2.3.2.3 Wind	- 15 -
2.4 Wolle	- 15 -
2.4.1 Charakteristika der Lamawolle	- 15 -
2.4.2 Schur	- 16 -
2.4.2.1 Schurformen	- 17 -
2.4.2.2 Einfluss der Schur auf physiologische Parameter und Verhalten	- 17 -
2.4.2.3 Einfluss der Schur auf die Thermoregulation	- 18 -
2.5 Fortpflanzung	- 19 -
2.5.1 Anatomie und Physiologie der männlichen Geschlechtsorgane von Neuweltkameliden	- 19 -
2.5.1.1 Skrotum und Hoden	- 19 -
2.5.1.1.1 Mikroskopischer Aufbau des Hodens	- 20 -
2.5.1.1.2. Proliferation der Spermatogonien	- 23 -
2.5.1.1.3 Thermoregulation der Hoden	- 24 -
2.5.1.1.4 Skrotaltemperaturmessung mit Hilfe der Infrarotthermographie	- 26 -

2.5.1.2 Nebenhoden und Samenstrang	- 27 -
2.5.1.3 Geschlechtsdrüsen	- 28 -
2.5.1.4 Penis und Präputium	- 28 -
2.5.2 Fortpflanzungsphysiologie der männlichen Neuweltkameliden	- 29 -
2.5.2.1 Geschlechts- und Zuchtreife	- 29 -
2.5.2.2 Deckakt	- 30 -
2.5.2.3 Sperma	- 31 -
2.5.2.3.1 Spermatogenese	- 31 -
2.5.2.3.2 Hormonelle Regulation der Spermatogenese	- 31 -
2.5.2.3.3 Spermagewinnung	- 32 -
2.5.2.3.4 Spermacharakteristika	- 33 -
2.5.2.3.5 Einflüsse des Alters, der Rangordnung, der Deckdauer und wiederholter Ejakulationen auf die Spermaparameter	- 35 -
2.5.2.3.6 Saisonalität der Spermaqualität bei Neuweltkameliden	- 35 -
2.5.3 Einfluss von Hitze einwirkung auf die Reproduktion männlicher Tiere	- 36 -
2.5.3.1 Einfluss von Hitze auf die Spermaparameter	- 36 -
2.5.3.2 Einfluss von Hitze auf die Hoden	- 37 -
2.5.3.2.1 Histologische Veränderungen des Hodens nach Hitzebelastung	- 38 -
2.5.3.2.2 Veränderungen der Genexpression und die Rolle von Hitzeschockproteinen (HSP) im Hoden nach Hitzebelastung	- 39 -
2.5.3.3 Einfluss der Schur auf die Hitzebelastung männlicher Tiere	- 41 -
2.6 Endokrinologie	- 42 -
2.6.1 Androgene	- 42 -
2.6.1.1 Einfluss von Hitze auf die Testosteronwerte	- 44 -
2.6.2 Schilddrüsenhormone	- 44 -
2.6.2.1 Einfluss von Hitze auf Schilddrüsenhormonwerte	- 45 -
3 Material und Methoden	- 47 -
3.1 Tiere	- 47 -
3.2 Haltung und Fütterung	- 47 -
3.2.1 Aufbau der temperierbaren Stallungen	- 48 -
3.3 Versuchsplan	- 49 -
3.3.1 Versuchsphasen	- 50 -
3.3.1.1 Versuchsphasen für Gruppe 1	- 50 -
3.3.1.2 Versuchsphasen für Gruppe 2	- 51 -
3.4 Physiologische Parameter und Kontrolle der Tiere	- 54 -

3.4.1 Wasserverbrauch pro Stall	- 54 -
3.5 Stallklima	- 54 -
3.6 Verhaltensbeobachtungen	- 54 -
3.7 Erfassung von Körperoberflächentemperaturen mittels Infrarotthermographie	- 55 -
3.7.1 Auswertung der IR-Bilder	- 56 -
3.8 Blutentnahme und Hormonbestimmung	- 57 -
3.8.1 Blutentnahme	- 57 -
3.8.2 Hormonbestimmung	- 58 -
3.8.2.1 Schilddrüsenhormone	- 58 -
3.8.2.2 Testosteron	- 58 -
3.9 Spermagewinnung und -beurteilung	- 60 -
3.9.1 Spermagewinnung	- 60 -
3.9.2 Ejakulatbeurteilung	- 61 -
3.10 Kastration	- 62 -
3.10.1 Kastrationszeitpunkte	- 62 -
3.10.2 Narkose und Operationsvorbereitung	- 63 -
3.10.3 Operation	- 63 -
3.10.4 Nachsorge	- 64 -
3.11 Histologische Untersuchung der Hoden	- 64 -
3.11.1 Fixierung	- 64 -
3.11.2 Einbettung in Paraffin	- 65 -
3.11.3 Beschichtung der Objektträger	- 65 -
3.11.4 Anfertigung und Färbung der Schnitte	- 65 -
3.11.5 Auswertung der H.E.-gefärbten Schnitte	- 67 -
3.12 Immunhistochemischer Nachweis von Ki-67	- 67 -
3.13 Haarlängenmessung	- 69 -
3.14 Hodenvermessung	- 69 -
3.15 Körpergewicht der Tiere	- 69 -
3.16 Statistische Auswertung der Daten	- 69 -
4 Ergebnisse	- 71 -
4.1 Gesundheitsstatus, Körpergewichte, Skrotalfläche und Wasserverbrauch der Lamahengste	- 71 -
4.2 Physiologische Parameter	- 73 -
4.2.1 Pulsfrequenz	- 73 -
4.2.2 Atemfrequenz	- 75 -
4.2.3 Rektaltemperatur	- 77 -
4.2.4 Korrelationen der physiologischen Parameter	- 79 -

4.3.1 Spermagewinnung	- 80 -
4.3.1.1 Libido der Hengste	- 80 -
4.3.2 Spermaparameter	- 82 -
4.3.2.1 Geruch, Farbe und Konsistenz	- 82 -
4.3.2.2 Ejakulatvolumen	- 83 -
4.3.2.3 pH-Wert	- 84 -
4.3.2.4 Spermiendichte	- 84 -
4.3.2.5 Vorwärtsbeweglichkeit	- 86 -
4.3.2.6 Anteil morphologisch abnormer Spermien	- 87 -
4.3.2.7 Morphologische Veränderungen der Spermien	- 89 -
4.3.3 Histologisches Erscheinungsbild der Hoden	- 94 -
4.3.4.1 Proliferation der Spermatogonien in der Kontrollgruppe	- 96 -
4.3.4.2 Proliferation der Spermatogonien in der Versuchsgruppe	- 97 -
4.4 Hormonwerte	- 100 -
4.4.1 Schilddrüsenhormone	- 100 -
4.4.1.1 Trijodthyronin (T ₃)	- 100 -
4.4.1.2 Thyroxin (T ₄)	- 101 -
4.4.1.3 Korrelationen zwischen Schilddrüsenhormonen und Rektaltemperaturen	- 103 -
4.4.2 Testosteron	- 103 -
4.4.2.1 Korrelation von Testosteron mit Spermaparametern	- 104 -
4.5 Körperoberflächentemperaturen	- 105 -
4.5.1 Körperoberflächentemperatur im Bereich des Anus	- 105 -
4.5.2 Körperoberflächentemperaturen des Rumpfes	- 106 -
4.5.3 Oberflächentemperaturen des Skrotums	- 108 -
4.5.3.1 Temperaturgradient des Skrotums	- 109 -
4.5.4 Korrelation von Körperoberflächentemperaturen mit Rektaltemperaturen	- 110 -
4.6 Verhalten der Tiere im Versuchsverlauf	- 110 -
4.6.1 Verhaltensmerkmal „Gehen“ im Versuchsverlauf	- 110 -
4.6.2 Verhaltensmerkmal „Stehen“ im Versuchsverlauf	- 111 -
4.6.3 Verhaltensmerkmal „Liegen“ im Versuchsverlauf	- 113 -
5 Diskussion	- 115 -
5.1 Versuchsbedingungen	- 115 -
5.2 Beurteilung der Hitzetoleranz anhand der Körpergewichte, des Wasserverbrauchs und der physiologischen Messparameter	- 116 -
5.3 Einfluss der Hitzebelastung auf die Reproduktionsparameter	- 121 -

5.3.1	Hitzeinfluss auf die Libido und die Ejakulatparameter	- 121 -
5.3.2	Skrotaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen	- 127 -
5.3.2.1	Skrotaler Temperaturgradient	- 130 -
5.3.3	Hitzeinfluss auf die Hodenhistologie	- 131 -
5.3.4	Proliferation der Spermatogonien	- 133 -
5.3.4.1	Ki-67 Färbung der Spermatogonien im physiologischen Lamahoden	- 133 -
5.3.4.2	Hitzeinfluss auf die Proliferation der Spermatogonien	- 134 -
5.3.5	Zusammenfassende Betrachtung des Hitzeinfluss auf Reproduktionsparameter	- 136 -
5.4.	Körperoberflächentemperaturen in den beiden Temperaturphasen	- 137 -
5.4.1	Oberflächentemperaturen des Anuskegels in den beiden Temperaturphasen	- 137 -
5.4.2	Körperoberflächentemperaturen des Körpers in den beiden Temperaturphasen	- 138 -
5.5	Hitzeinfluss auf Hormonwerte	- 139 -
5.5.1	Schilddrüsenhormone	- 139 -
5.5.2	Testosteron	- 141 -
5.6	Veränderungen des Verhaltens in den beiden Temperaturphasen	- 142 -
6	Zusammenfassung	- 146 -
7	Summary	- 149 -
8	Literaturnachweis	- 152 -
9	Anhang	- 173 -

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Taxonomie der Kameliden.....	- 3 -
Abb. 2: Möglichkeiten der Thermoregulation eines homiothermen Tieres.....	- 6 -
Abb. 3: Verteilung von Fell verschiedener Dicke auf dem Körper eines Guanakos	- 10 -
Abb. 4: „Rumpfschnitt“ und „modifizierter Löwenschnitt“	- 17 -
Abb. 5: Laterale Ansicht der männlichen Genitalorgane eines Neuweltkamels mit Vergrößerung des Skrotal- und Hodenbereiches	- 27 -
Abb. 6: Schema der präputialen Verklebung bei Neuweltkameliden in Abhängigkeit vom Alter der Tiere	- 29 -
Abb. 7: Stallgrundriss	- 48 -
Abb. 8: Mittelwerte der Pulsfrequenzen der Schurtypen im Versuchsverlauf	- 74 -
Abb. 9: Mittelwerte der Atemfrequenzen der Schurtypen im Versuchsverlauf	- 76 -
Abb. 10: Mittelwerte der Rektaltemperatur der Schurtypen im Versuchsverlauf	- 78 -
Abb. 11: Libido A und D der Hengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 81 -
Abb. 12: Durchschnittliche Libido A und D der Hengste in den zwei Temperaturphasen ..	- 81 -
Abb. 13: Ejakulatkonsistenz der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und durchschnittliche Ejakulatkonsistenz in den zwei Temperaturphasen	- 82 -
Abb. 14: Durchschnittliches Ejakulatvolumen der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und durchschnittliches Ejakulatvolumen in den beiden Versuchsphasen	- 83 -
Abb. 15: Durchschnittlicher pH-Wert der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und in den zwei Temperaturphasen.....	- 84 -
Abb. 16: Spermiedichte im Versuchsverlauf der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 85 -
Abb. 17: Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 86 -
Abb. 18: Morphologisch abnorme Spermien in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 88 -
Abb. 19: Spermien mit Kopfmisbildungen in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 90 -
Abb. 20: Spermien mit abnormem Schwanz in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 91 -
Abb. 21: Lose Spermienköpfe in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 91 -
Abb. 22: Lose Spermienchwänze in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert	- 92 -
Abb. 23: Spermien mit Plasmotropfen in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert ...	- 93 -

Abb. 24: Stadienverteilung in % der Kastrationsgruppen	- 94 -
Abb. 25: Mehrkernige Riesenzellen/Tubulusquerschnitt zu den verschiedenen Kastrationszeitpunkten	- 95 -
Abb. 26: Prozentanteil an Hodentubuli mit Ki-67 positiven Spermatogonien in % je Hoden der Kontrolltiere eingeteilt in 7 Gruppen je nach Prozentsatz der Ki-67 positiven Spermatogonien/Tubulus	- 96 -
Abb. 27: Prozentanteil an Hodentubuli mit Ki-67 positiven Spermatogonien in % je Hoden der Kastrationsgruppen eingeteilt in 7 Gruppen je nach Prozentsatz der pos. Spermatogonien/Tubulus	- 98 -
Abb. 28: LSQ-Mittelwerte der Ki-67 positive Spermatogonien/Stadium in % im Versuchsverlauf.....	- 98 -
Abb. 29: Serumgehalt an Trijodthyronin ($\bar{x} \pm SD$) in ng/dl im Versuchsverlauf	- 101 -
Abb. 30: Serumgehalt an Thyroxin ($\bar{x} \pm SD$) in $\mu\text{g/dl}$ im Versuchsverlauf	- 102 -
Abb. 31: Serumentestosteron ($\bar{x} \pm SD$) in ng/ml der Gruppe 1 im Versuchsverlauf.....	- 103 -
Abb. 32: : Temperaturen der skrotalen Messpunkte 1-5 in beiden Temperaturphasen	- 109 -
Abb. 33: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Gehen“ der einzelnen Lamahengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 111 -
Abb. 34: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Gehen“ im Tagesverlauf	- 111 -
Abb. 35: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Stehen“ der einzelnen Lamahengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 112 -
Abb. 36: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Stehen“ im Tagesverlauf.....	- 112 -
Abb. 37: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Liegen“ der einzelnen Lamahengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 113 -
Abb. 38: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Liegen“ im Tagesverlauf.....	- 114 -
Abb. 39: Messung der Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Infraotthermographie	- 173 -
Abb. 40: Thermographieaufnahme des Skrotums eines Lamas	- 173 -
Abb. 41: Messung der Skrotaltemperatur mit Hilfe der Infrarotthermographie.....	- 174 -
Abb. 42: Thermographieaufnahme des Anus eines Lamas	- 174 -
Abb. 43: Spermagewinnung beim Lama mit Hilfe eines Lamastutenphantoms und einer künstlichen Vagina	- 175 -
Abb. 44: Spermagewinnung beim Lama mit Hilfe einer künstlichen Vagina (Detailansicht)	- 175 -

Abb. 45: Stadium I, II/III, IV des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung,	- 176 -
Abb. 46: Stadium V, VI, VII des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung,	- 177 -
Abb. 47: Stadium VIII und „kein Stadium“ des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung	- 178 -
Abb. 48: Zwei Darstellungen einer H.E.-Färbung von mehrkernigen Riesenzellen im hitzebeschädigten Lamahoden	- 179 -
Abb. 49: Größenmessung der Hoden im Skrotum.....	- 179 -
Abb. 50: H.E.-Färbung des physiologischen Lamahodens.....	- 180 -
Abb. 51: H.E.-Färbung eines hitzebeschädigten Lamahodens	- 180 -
Abb. 52: Ki-67-Färbung des physiologischen Lamahodens.....	- 181 -
Abb. 53: Ki-67-Färbung eines hitzebeschädigten Lamahodens	- 181 -
Abb. 54: Thermographieaufnahme eines a) ungeschorenen b) halbgeshorenen c) vollgeschorenen Lamas	- 182 -

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Geschätzte Neuweltkamelidenpopulation.....	- 4 -
Tab. 2: Größenentwicklung der Hoden von Lamas in Abhängigkeit vom Alter der Tiere	- 20 -
Tab. 3: Stadien des Hodenepithels mit den charakteristischen Merkmalen.....	- 22 -
Tab. 4: Testosteronwerte in pg/ml von Lamas, Alpakas und Vikunjas zu verschiedenen Jahreszeiten auf der Südhalbkugel.....	- 43 -
Tab. 5: Vergleich der Schilddrüsenhormonwerte (T ₃ und T ₄) von Lamas.....	- 46 -
Tab. 6: Tabellarische Darstellung des Versuchsplans.....	- 49 -
Tab. 7: Tabellarische Übersicht der erfassten Parameter bzw. der durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsphasen	- 53 -
Tab. 8: Definition der observierten Verhaltensweisen	- 55 -
Tab. 9: Kastrationszeitpunkte der Lamas aus Gruppe 2 und 3.....	- 63 -
Tab. 10: Körpergewichtsentwicklung (in kg) der einzelnen Lamahengste in der Hitzeperiode	- 72 -
Tab. 11: Wasserverbrauch in Liter/Stall (d.h. je 2 Lamas des gleichen Schurtyps) mit Signifikanzniveau zwischen der Hitze (H)- und Erholungsphase (E).....	- 72 -
Tab. 12: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Pulsfrequenzen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen.....	- 74 -
Tab. 13: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Atemfrequenzen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen.....	- 76 -
Tab. 14: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Rektaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen.....	- 78 -
Tab. 15: Korrelationen zwischen den physiologischen Parametern in Hitze- und Erholungsphase	- 79 -
Tab. 16: Im gesamten Versuchsverlauf beobachtete morphologisch abnorme Veränderungen der Spermien ($\bar{x} \pm SD$) in %, sortiert nach der Häufigkeit ihres Auftretens	- 89 -
Tab. 17: Ki-67 positive Spermatogonien/Stadium in % (Kontrollgruppe)	- 97 -
Tab. 18: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der T ₃ -Werte in ng/dl der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen.....	- 100 -

Tab. 19: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der T ₄ -Werte in µg/dl der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen.....	- 102 -
Tab. 20: LSQ-Mittelwerte der Oberflächentemperatur des Anuskegels in °C der Schurtypen in beiden Temperaturphasen	- 105 -
Tab. 21: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der Körperoberflächentemperaturen „vorne“, „mitte“ und „hinten“ in °C der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen	- 107 -
Tab. 22: LSQ-Mittelwerte der Oberflächentemperaturen des Skrotums in °C der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen	- 108 -
Tab. 23: Korrelationen der Körperoberflächentemperaturen und der Rektaltemperatur ...	- 110 -

Abkürzungsverzeichnis

A.	Adaptationsphase	mod.	modifiziert
<i>A.</i>	<i>Arteria</i>	µg	Mikrogramm
A. bidest.	Aqua bidestillata	µl	Mikroliter
A. dest.	Aqua destillata	µm	Mikrometer
Abb.	Abbildung	Na	Natrium
ABP	Androgen binding protein	ng	Nanogramm
abs.	absolut	nm	Nanometer
BSA	Bovines Serum Albumin	p	Signifikanz
bzw.	beziehungsweise	pg	Pikogramm
°C	Grad Celsius	PO ₄	Phosphat
Ca	Kalzium	pos.	positiv
ca.	circa	Prof.	Professor
CAEV	Caprines Arthritis Enzephalitis	r	Korrelationskoeffizient
	Virus	RIA	Radioimmunotest
Cl	Chlor	SD	Standardabweichung
cm	Zentimeter	SE	Standardfehler (standard error)
cm ²	Quadratzenimeter	Spg.	Spermatogonien
d	Tag	t	Tonne
d.h.	das heißt	T ₃	Trijiodthyronin
dl	Deziliter	T ₄	Thyroxin
E	Erholungsphase	Tab.	Tabelle
engl.	englisch	TRH	Thyreoliberin
et al.	und andere	TSH	Thyreotropin
etc.	etcetera	u.a.	unter anderem
fmol	Femtomol	U/min	Umdrehungen pro Minute
FSH	Follikelstimulierendes Hormon	USA	United Staates of America
g	Gramm	<i>V.</i>	<i>Vena</i>
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon	v.a.	vor allem
H	Hitzephase	W	Watt
h	Stunde	\bar{x}	Mittelwert
HF	Hochfrequenz	z.B.	zum Beispiel
HSF	Heat Shock Transkription Faktor		
HSP	Hitzeschockprotein		
Hz	Hertz		
kg	Kilogramm		
KG	Körpergewicht		
konz.	konzentriert		
LH	Luteinisierungshormon		
LSQ-M	leas square mean (LSQ-Mittelwert)		
m	Meter		
<i>M.</i>	<i>Musculus</i>		
mg	Milligramm		
min	Minute		
ml	Milliliter		
mm	Millimeter		

1 Einleitung

Domestizierte Neuweltkameliden (Lamas und Alpakas) spielen in Südamerika eine bedeutende Rolle für die Erzeugung feiner Tierhaare. In zunehmendem Maße werden Neuweltkameliden auch außerhalb der Ursprungsländer gehalten und somit in andere klimatische Zonen verbracht. Auch in Deutschland finden Lamas seit einigen Jahren wachsendes Interesse und werden inzwischen als ernstzunehmende Ergänzung zu den heimischen Nutztierassen nachgefragt (EGEN, 2003). Mittlerweile wird die Population in Deutschland auf 4500 Tiere geschätzt (SCHMEIS, 2003), wobei hier die Hobbyhaltung überwiegt (GAULY und BOURKE, 1997).

Hinsichtlich der biologischen und wirtschaftlichen Bedeutung zählt die Fruchtbarkeit sowohl der männlichen als auch der weiblichen Tiere zu den wichtigsten Merkmalskomplexen, da dem Verkauf von Zuchttieren die größte wirtschaftliche Bedeutung bei der Haltung und Zucht von Lamas zukommt (GAULY, 1997a).

Länger andauernde hohe Außentemperaturen können bei Neuweltkameliden zu reduzierten Fruchtbarkeitsleistungen und Hitzestress führen, wobei die Schur der Tiere gemeinhin als Prophylaxe gegen Hitzestress empfohlen wird (FOWLER, 1998).

In großen Teilen des Südens und Westens der USA zeigen Lamahengste eine reduzierte Fruchtbarkeit in den Sommermonaten (FOWLER, 1998). Auch unter mitteleuropäischen Klimabedingungen können saisonale Veränderungen der Spermaparameter bei Lamas beobachtet werden, wobei eine signifikante negative Korrelation zwischen der Umgebungstemperatur und der Spermienkonzentration ermittelt wurde (GAULY, 1997a). Dieses Phänomen bei männlichen Tieren steht vermutlich in direktem Zusammenhang mit der Hodeninnentemperatur (SETCHELL, 1998). Durch einige anatomische Besonderheiten des Lamas sind die Hoden der Tiere gegenüber erhöhten Umgebungstemperaturen vermutlich besonders empfindlich (FOWLER, 1998). Die Hoden des Lamas sind sehr körpernah gelegen und die Haut des Skrotums ist dick, um vor Verletzungen der Hoden während der Hengstkämpfe zu schützen (BRAVO, 2002; FOWLER, 1998).

Es ist anzunehmen, dass Änderungen der Körpertemperatur und somit der Hodeninnentemperatur einen schnellen und tiefgreifenden Effekt auf heranreifende Spermien haben. Ob darin der hohe Anteil morphologisch abnormer Spermien im Ejakulat von Neuweltkamelen in den Sommermonaten in Mitteleuropa begründet ist, konnte noch nicht vollständig geklärt werden (GAULY, 1997a). Es ist zudem nicht bekannt, inwiefern im Vergleich zu den Ursprungsländern der Tiere höhere Außentemperaturen Einfluss auf die

Thermoregulation und das Verhalten von männlichen Lamas nehmen und inwieweit der Schurtyp der Tiere dies beeinflusst.

Es ist daher das Ziel der vorliegenden Arbeit, die Folgen einer längerfristig moderat erhöhten Umgebungstemperatur auf Reproduktion, Thermoregulation und Verhalten fertiler Lamahengste unter Berücksichtigung der Bewollung zu untersuchen.

2 Literaturübersicht

2.1 Zoologische Grundlagen und Evolution

2.1.1 Taxonomie

Neuweltkameliden sind in die Klasse der *Mammalia* zur Ordnung der *Artiodactyla* (Paarhufer) eingestuft. In dieser Ordnung werden drei Unterordnungen unterschieden: *Suiformes* (Schweineartige), *Tylopoda* (Schwielensohler) und *Ruminantia* (Wiederkäuer) (GRZIMEK, 1988). Die Kameliden werden in die Unterordnung der Schwielensohler gestellt, da sie sich anatomisch (v.a. Magen und Extremitäten) stark von den Wiederkäuern unterscheiden (FOWLER, 1995; SAN MARTIN und BRYANT, 1989). Die Unterordnung der *Tylopoda* umfasst die Familie der *Camelidae* mit den Gattungen *Lama* (Neuweltkameliden) und *Camelus* (Altweltkamele). Der Gattung der Altweltkamele gehören zwei Arten an, das Dromedar (*C. dromedarius*) und das Trampeltier (*C. bactrianus*). Zu den Neuweltkameliden (*Lama*) werden die Arten Lama (*Lama glama*), Alpaka (*Lama pacos*), Guanako (*Lama guanicoe*) und Vikunja (*Vicugna vicugna*) gezählt (Abb. 1)(FOWLER, 1998; KADWELL et al., 2001).

Klasse: **MAMMALIA** (Säuger)

Ordnung: **ARTIODACTYLA** (Paarhufer)

Unterordnung: **TYLOPODA** (Schwielensohler)

Familie: *Camelidae* (Kamele)

Gattung: *Camelus* (Altweltkamele)

Art: *Camelus dromedarius*-Dromedar
C. bactrianus-Trampeltier

Gattung: *Lama* (Neuweltkameliden)

Art: *Lama glama*-Lama
L. pacos-Alpaka
L. guanicoe-Guanako
L. g. guanicoe
L. g. cacsiliensis
Vicugna vicugna -Vikunja
V. v. mensalis
V. v. vicugna

Abb. 1: Taxonomie der Kameliden (FOWLER, 1998; KADWELL et al., 2001)

2.1.2 Verbreitung und Nutzung der Neuweltkameliden

Die Haltung der auf der Welt lebenden etwa 3,6 Millionen Lamas und 3,3 Millionen Alpakas konzentriert sich heute hauptsächlich auf die Länder Südamerikas, d.h. Bolivien, Peru, Chile und Argentinien (HIENDLEDER und KESSLER, 1997).

In Nordamerika sind heute schon über 120.000 Lamas und über 48.000 Alpakas registriert. Andere Länder (Australien, Neuseeland, England, Schottland, Frankreich und Deutschland) verzeichnen ebenfalls einen Anstieg der Neuweltkamelidenpopulation (WERNERY et al., 1999). In Deutschland wird die Population der Lamas auf mittlerweile 4.500 Tiere geschätzt (SCHMEIS, 2003).

Tab. 1: Geschätzte Neuweltkamelidenpopulation (CAPRIO, 1991; LOPEZ, 1999; SCHMEIS, 2003; TORRES, 1992)

Land	Lamas	Alpakas	Guanakos	Vikunjas
Argentinien	75.000	2.000	550.000	23.000
Bolivien	2.500.000	300.000	?	12.000
Chile	79.000	45.000	2.000	28.000
Peru	900.000	3.020.000	1.400	98.000
Australien	< 5.000	> 5.000	einige in Zoos	0
Kanada	> 6.000	> 4.500	< 100 in Zoos	> 10
Europa	>4.500	>1.000	< 100 in Zoos	< 100 in Zoos
USA	> 110.000	> 48.070	145 v.a. in Zoos	0
In Zoos	343	303	397	100
Total	3.679.843	3.425.873	572.142	161.210
Insgesamt	7.839.068			

Neuweltkameliden zeichnen sich durch vielfältige landwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten aus. Die Leistungen und Produkte umfassen Faser, Fell, Leder, Fleisch, das Tragen von Lasten, Dünger, Brennmaterial (Exkrementen), Landschaftspflege, der Schutz von Schafherden bis hin zur Hobbyhaltung oder dem Einsatz zur Physiotherapie beim Menschen (GERKEN, 1997a; WERNERY et al., 1999).

Die Weltproduktion an Fasern von Neuweltkameliden betrug 1992 ca. 4.000 t und kommt zum größten Teil aus den Ursprungsländern Peru und Bolivien. (VINELLA, 1994). Lamafasern werden aufgrund ihrer geringeren Feinheit (34 µm) im Vergleich zu Alpakafasern

(27,5 µm) vor allem zur Herstellung von Taschen und Decken verwendet (GERKEN, 1997a; URQUIETA und ROJAS, 1990).

Die Haut von Lamas hat eine sehr ungleichmäßige Struktur, wodurch die Eignung für die Lederverarbeitung eingeschränkt wird (MOOG, 1995). In geringem Umfang werden auch Lamafelle verwertet (GERKEN, 1997a).

Lama- und Alpakafleisch sind traditionelle Nahrungsmittel in der altoandinen Bevölkerungsgruppe. Jährlich werden ca. 9-10% der Population für den Verzehr geschlachtet (GERKEN, 1997a).

Die Nutzung des Lamas als Packtier für lange Entfernungen wird heute in Südamerika durch Lastwagen ersetzt. Für lokale Transporte haben die Lamas aber durchaus noch eine Bedeutung (WEST, 1981). Die Nutzung des Lamas als Lasttier erfährt in anderen Ländern (Europa, USA) eine zunehmende Beliebtheit. Trekkingtouren mit Lamas bieten eine alternative Nutzungsmöglichkeit dieser Tiere (GERKEN, 1997a).

Zum Schutz von Schafherden wird die abschreckende Wirkung von Lamas auf Luchse bei gemeinsamer Haltung mit Schafen eingesetzt. Auch der Einsatz von Alpakas gegen Füchse in australischen Schafherden hat sich bewährt (ISENBÜGEL, 2003).

Lamas und Alpakas können zur „Tiergestützten Therapie“ (AAT animal assisted therapy) oder zur „Tiergestützten Aktivität“ (AAA animal assisted activity) mit Körperbehinderten, psychischkranken und suchtkranken Erwachsenen und Kindern eingesetzt werden (FRIEDRICH, 2002).

In Deutschland überwiegt das Interesse an der Hobbyhaltung (GAULY und BOURKE, 1997).

2.2 Thermoregulation

2.2.1 Physiologie der Thermoregulation

Tiere mit konstanter Körpertemperatur werden als homiotherm beschrieben. Wenn die Körpertemperatur selbst erzeugt wird und nicht aus der Umgebung stammt, so verwendet man den Begriff endotherm (PAUL, 2001). Säugetiere und damit auch die Neuweltkameliden werden daher als homiotherme Endotherme bezeichnet. Eine Übersicht über die Thermoregulation eines homiothermen Tieres gibt Abbildung 2.

Eine konstante Körpertemperatur ist dann gegeben, wenn Wärmebildung und Wärmeabgabe im Gleichgewicht sind. Änderungen sowohl der Wärmeerzeugung (Arbeit, Nahrungsaufnahme etc.) als auch der Wärmeabgabe (Wechsel der Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung, Sonneneinstrahlung etc.) können rasch eintreten. Deshalb müssen die

Homiothermen über Mechanismen zur Wärmebildung bzw. -abgabe verfügen (HÖRNICKE, 1987). Die Konstanthaltung der Kerntemperatur wird durch einen komplexen Regelkreis gewährleistet (JESSEN, 2000).

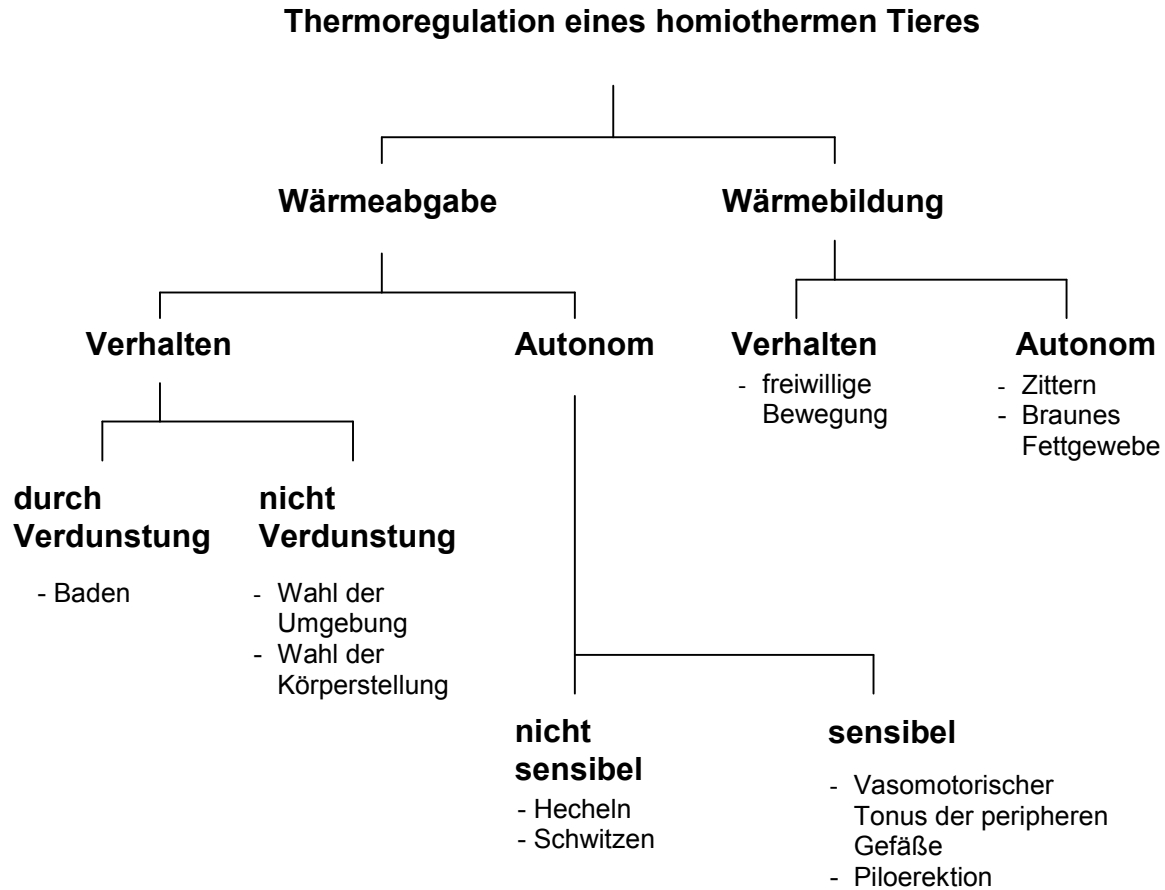


Abb. 2: Möglichkeiten der Thermoregulation eines homiothermen Tieres (mod. nach BLIGH, 1998)

In Ruhe wird die gesamte im Stoffwechsel umgesetzte Energie zu Wärme. Die Ruhewärmeproduktion kann bei z.B. erhöhter Fütterung erheblich ansteigen.

Bei Kältebelastung muss die Wärmeproduktion über den Ruhewert erhöht werden, um die Kerntemperatur konstant zu halten. Eine Möglichkeit ist das Kältezittern. Unwillkürliche Kontraktionen überlagern sich in einem erhöhten Tonus. Die Wärmeproduktion kann so kurzfristig auf das fünffache des Ruhewertes gesteigert werden (BLIGH, 1998).

Eine zitterfreie Wärmebildung im braunen Fettgewebe ist bei Kleinsäugetieren und Winterschläfern lebenslang, bei größeren Säugern nur in der postnatalen Phase möglich (JESSEN, 2001).

Die Gesamtwärmeabgabe ist gleich der Summe ihrer Komponenten Leitung, Konvektion, Strahlung und Verdunstung.

Die Wärmeabgabe durch Leitung beruht auf der direkten Übertragung von kinetischer Energie von der wärmeren in die kältere Schicht.

Bei der konvektiven Wärmeabgabe übernimmt die dem Fell anliegende Luft Wärme durch Leitung und steigt auf, so dass kältere Luft nachfolgt. In der Grenzschicht tritt laminare Strömung auf (freie Konvektion). Mit zunehmendem Wind nimmt die Wärmeabgabe zu (erzwungene Konvektion).

Die Wärmeabgabe durch Strahlung erfolgt durch langwellige Infrarotstrahlung. Demgegenüber steht eine Wärmeaufnahme durch kurzwelliges Infrarot (Sonneneinstrahlung) und langwelligem Infrarot (bei bewölktem Himmel), die der Wärmeabgabe durch Strahlung überwiegt (außer im Stall) (JESSEN, 2000).

Dieser „trockenen“ Wärmeabgabe durch Leitung, Konvektion und Strahlung steht die „feuchte“ Wärmeabgabe durch Verdunstung von Wasser auf der Haut oder den Atemwegen gegenüber (JESSEN 2000). Die Verdunstung ist abhängig von der Differenz der Wasserdampfpartialdrücke auf der Haut und in der Luft, aber unabhängig von der Umgebungstemperatur. Das heißt, die Wärmeabgabe durch Verdunstung setzt nur voraus, dass der Dampfdruck auf der Haut höher ist als in der umgebenden Luft (JESSEN, 1996).

Tiere verwenden verschiedene Wege um die Verdunstung von Wasser zur Kühlung zu verwenden. Zum einem durch ihre Verhaltensweisen, wie z.B. Wälzen und Baden, und zum anderen durch autonome Prozesse wie Speicheln, Hecheln und Schwitzen (DE LAMO et al., 2001). Nach HAMMEL (1968) geht das Hecheln der Evolution des Schwitzens voraus. DE LAMO et al. (2001) beschreiben beim Lama das Schwitzen als Möglichkeit zur Thermoregulation.

Die Schweißdrüsen der Neuweltkameliden sind epitrichial und über den gesamten Körper verteilt, wobei sie an den kürzer behaarten Körperteilen in der ventralen Körperregion zahlreicher vorhanden sind (FOWLER, 1998).

Das Lama (*Lama glama*) und das Guanako (*Lama guanacoe*) reagieren auf Hitzestress mit einer kontinuierlichen Schweißproduktion (DE LAMO et al., 2001). Guanakos scheinen schon bei niedrigeren Temperaturen (ab ca. 20°C) als Lamas (ab ca. 25°C) die Schweißproduktion zu steigern, wobei die Schweißproduktion pro Quadratzentimeter Haut beim Lama höhere Werte erreicht als beim Guanako. Da das Lama eine relativ dichte und dicke Wolle aufweist, bedeutet die höhere Schweißproduktion nicht auch eine effektivere

Kühlung, da es in der Wolle nur einen relativ kleinen Feuchtigkeitsgradienten gibt, so dass die Verdunstungskälte relativ gering ist. Nur an den kurz behaarten Körperstellen ist eine effektive Kühlung möglich (DE LAMO et al., 2001).

Mit dem Schweiß gehen Wasser und Elektrolyte verloren, so dass bei langandauerndem Schwitzen das Plasmavolumen abnimmt (JESSEN, 2000).

Durch die Haut diffundiert ständig Wasser aus den tieferen Gewebeschichten durch das verhornte Epithel in die angrenzende Luftschicht. Durch die Verdunstung dieses Wassers wird dem Körper Wärme entzogen. Auch durch die Erwärmung der Atemluft und durch Verdunstung an den Schleimhäuten der Luftwege geht ständig Wärme verloren. Wird bei erhöhtem Sauerstoffverbrauch die Lungenbelüftung gesteigert, so nimmt der Wasser- und Wärmeverlust entsprechend zu (HÖRNICKE, 1987).

Nach ROSENMANN und MORRISON (1963) steigert ein Guanako seine Atemfrequenz nicht unter Hitzbelastung, sondern nur bei körperlicher Arbeit. Daraus folgern DE LAMO et al. (2001), dass der respiratorische Wasserverlust für die Thermoregulation beim Guanako keine Rolle spielt.

Eine andere Möglichkeit für Tiere die Verdunstungskühle zu nutzen, ist die Befeuchtung des Körpers. Schweine wälzen sich z.B. im Schlamm, um die Verdunstungskühle beim Trocknen des Schlamms zu nutzen (BLIGH, 1998).

FOWLER (1998) beschreibt bei Lamas das „Baden“ der Gliedmaßen im Wasser, wodurch es zu einer verstärkten Verdunstungskühlung kommt.

Da die trockene Wärmeabgabe proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Körperoberfläche und Umgebung ist, sollte bei kälteren Umgebungstemperaturen die Oberflächentemperatur möglichst niedrig sein. Andererseits sollte bei Wärmebelastung die Temperatur der Oberfläche möglichst höher sein als die der Umgebung, um eine trockene Wärmeabgabe zu ermöglichen. Für die Anpassung der Oberflächentemperatur stehen die folgenden zwei Mechanismen zur Verfügung, die einerseits den äußeren Wärmetransport von der Haut zur Oberfläche, andererseits den inneren Wärmetransport vom Kern zur Haut (Hautdurchblutung) beeinflussen (HAMMEL, 1968; JESSEN, 2000).

Subkutanes Fett als Schalengewebe isoliert gut. Innere Wärmebelastungen erfordern aber den Transport größerer Wärmemengen zur Haut. Dies wird durch konvektive Überbrückung der Schale (durch Wärmetransport mit dem Blut aus dem Kern zur Schale) gewährleistet und die

Hautdurchblutung nimmt stark zu. Bei Kälte ist die Hauttemperatur fast identisch mit der Umgebungstemperatur. Die Durchblutung der Haut und der Beine ist dann sehr gering, die Beine werden ein Teil der Körperschale (JESSEN, 2000).

Das Lama reagiert auf eine erhöhte Körpertemperatur mit Vasodilatation und gleichzeitig mit einem gesteigerten Blutfluss in der Haut und der Körperperipherie. Dies geschieht vor allem in der Perinealgegend, zwischen den Beinen und im ventralen Teil des Abdomens (PUGH et al., 1997).

2.2.1.1 Einfluss der Bewollung auf die Thermoregulation

Der Wärmedurchgang durch das Fell ist eine Funktion der Felldicke. Durch das Fell kommt es zu einer Unterdrückung der Konvektion, da das Fell eine Schale aus ruhender Luft um die Haut legt. Im Sommer erschwert ein dickes Fell somit die Wärmeabgabe. Das Fell reflektiert gleichzeitig aber einen Großteil der kurzwelligen Infrarotstrahlung und schützt somit auch gegen Wärmeeinstrahlung (JESSEN, 2000). Dieses Phänomen beschreibt FOWLER (1998) auch für Lamas. Das Fell von Lamas und Alpakas ist einerseits eine sehr gute Isolation gegen Kälte, verhindert aber andererseits, dass Wärmestrahlung die Haut erreicht.

Da der Hauptteil des Körpers zur Minimierung von Wärmeverlusten gut isoliert sein muss, sind dünn bedeckte Hautflächen an exponierten Stellen notwendig, um Wärme bei Bedarf abgeben zu können. Betrachtet man den Anteil der Körperoberfläche, die mit Fell verschiedener Dicke bedeckt ist, so legt dies nahe, dass einige Tiere das Wärmeleitvermögen des Felles durch Veränderung der Körperhaltung stark beeinflussen können. Bei ausgestreckten Gliedmaßen und voll exponierten Oberflächen können wenig behaarte Körperflächen als „Wärmefenster“ wirken, über die mehr als die Hälfte der gesamten Wärmeabgabe erfolgen kann (SCHMIDT-NIELSEN, 1999).

Neuweltkameliden sind in der ventralen Körperregion nur spärlich behaart. Diese Regionen dienen als so genannte thermale Fenster (FOWLER, 1998).

Beim Guanako sind 40% der Körperoberfläche mit dickem Fell bedeckt, aber 20% fast unbedeckt (Abb. 3). Durch die Körperhaltung kann das Guanako diese „Wärmefenster“ in ihrer Größe variieren und somit den Wärmeverlust regulieren (SCHMIDT-NIELSEN, 1999).

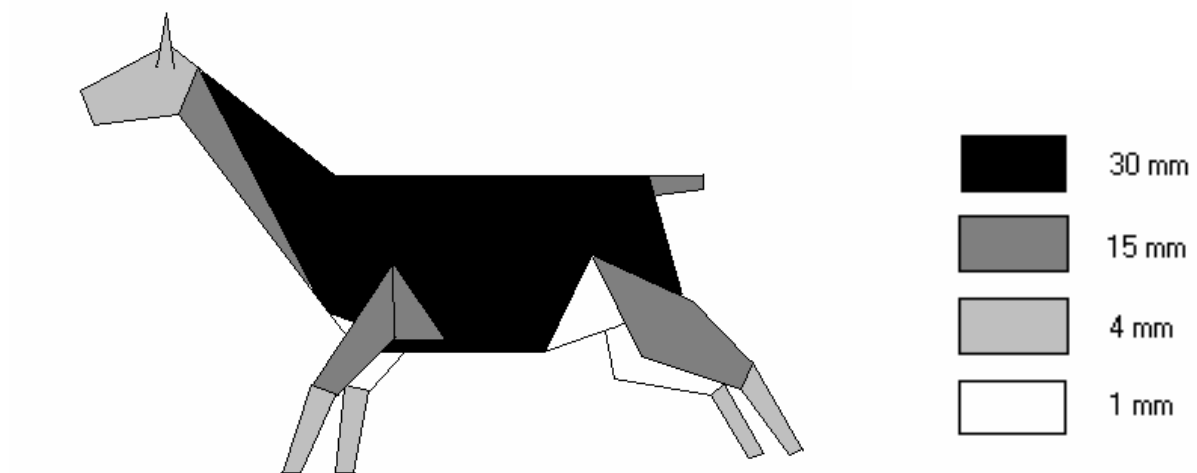


Abb. 3: Verteilung von Fell verschiedener Dicke auf dem Körper eines Guanakos (nach SCHMIDT-NIELSEN, 1999)

Dies wurde auch für Lamas mit Hilfe der Infrarotthermographie aufgezeigt. Ungeschorene Tiere weisen nur in den Bereichen mit kurzen oder keinen Haaren (zwischen den Hinterbeinen, am Bauch und Kopf) hohe Körperoberflächentemperaturen auf, so dass nur hier eine effektive Thermoregulation stattfinden kann (GERKEN, 1997a).

2.2.1.2 Thermoregulation durch Verhalten

Durch das Verhalten können die Bedingungen für die Wärmeabgabe verändert werden (HÖRNICKE, 1987). Verhaltensweisen der Neuweltkamele bei Hitze sind unter anderem das Aufsuchen von Schatten und das Baden in Teichen oder Flüssen (FOWLER, 1998).

Auch wurde beobachtet, dass Lamas und Alpakas bei Sonnenschein die meiste Zeit des Tages liegen. Vermutlich wählen sie einen Platz, der während der Nacht auskühlt. Solange die Tiere auf diesem Platz liegen, können sie Wärme über die thermalen Fenster abgeben (FOWLER, 1998). Zu diesem Schluss kam auch MILZ (2001), die beobachten konnte, dass Lamas unabhängig von der Temperatur zwar im Tagesmittel gleich viel liegen, dass aber Liegen in Brustlage mit aufliegendem Kopf bei Wärme signifikant höher als bei kühler Witterung zu beobachten war.

DE LAMO et al. (1998) fanden heraus, dass niedrige Umgebungstemperaturen die Körperhaltung von Guanakos beeinflussen. Die gezeigten Verhaltensweisen hatten vermutlich das Ziel, die „thermalen Fenster“ zu schließen, wodurch der Wärmeverlust durch Strahlung

und Konvektion gesenkt wird. Bei einer Umgebungstemperatur zwischen 0 und 10°C wurde durch die Körperhaltung die Fläche der „thermalen Fenster“ auf 5-7% der Gesamtkörperoberfläche verkleinert, während bei Temperaturen >10°C diese „Fenster“ durch Stellungswechsel auf bis zu 22% vergrößert wurden.

Nehmen Guanakos eine normale Liegestellung ein oder stehen, befinden sich die schwach bewollten Flächen an den Innenseiten der Beine einander gegenüber, wodurch der Wärmetransfer über die Oberfläche um die Hälfte vermindert wird. Wenn das Tier sich zusammenkauert, um möglichst viele der verbleibenden Kurzhaarareale zu verdecken, ist das Wärmeleitvermögen minimal. Es beträgt dann nur ein Fünftel des Wärmeleitvermögens des ausgestreckt stehenden/liegenden Tieres (SCHMIDT-NIELSEN, 1999).

MILZ (2001) konnte beobachten, dass Lamas bei kühler Witterung nie in flacher Seitenlage auf dem Boden lagen, um ihre thermalen Fenster nicht zu öffnen.

2.2.1.3 Hitzestress

Die Heimat der Neuweltkameliden ist das Andenhochland. Die Temperaturen in diesen Gebieten liegen zwischen 0,6 und 22°C, wobei Extremtemperaturen von -9 bis 31 °C gemessen wurden (ROTTER, 1991). Werte über 20°C werden aber selten überschritten (MIDDLETON und PARISH, 1999). Deshalb kommen Neuweltkameliden wahrscheinlich besser mit kaltem als mit heißem und schwülem Wetter zurecht. Hyperthermie kann bei Lamas und Alpakas vor allem in wärmeren Regionen ein ernstzunehmendes Problem darstellen, wenn entsprechende Managementmaßnahmen (wie z.B. Schur) nicht optimiert sind (FOWLER, 1998).

Die thermoregulatorischen Mechanismen des Tieres können versagen, wenn die Luft um das Lama bewegungslos ist (Windstille), die Umgebungstemperatur nahe der Körpertemperatur liegt und / oder wenn die Luftfeuchtigkeit so hoch ist, dass die Kühlung durch Verdunstung nur noch eingeschränkt möglich ist. Lamas, die exzessiv schwitzen, können dehydrieren, was eine Verringerung des Blutvolumens zur Folge hat. Dadurch wird auch die Kühlung durch Vasodilatation und vermehrte Hautdurchblutung reduziert (PUGH et al., 1997).

Weitere Faktoren, die die Thermoregulation des Lamas negativ beeinflussen, sind körperliche Arbeit, Trächtigkeit, Rangordnungskämpfe, Fettleibigkeit und lange, struppige und verfilzte Wolle. Sehr alte, sehr junge, hochtragende, geschwächte und kranke Lamas haben eine reduzierte Fähigkeit zur Thermoregulation. Auch sehr nervöse und angespannte Tiere sind hitzeempfindlicher (PUGH et al., 1997).

Fruchtbarkeitsstörungen werden sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen Tieren mit Hitzestress in Verbindung gebracht. Bei Hengsten kommt es zu einer Schädigung der Spermio-genese und somit zur Unfruchtbarkeit. Bei trächtigen weiblichen Tieren kann es zu frühem Embryonaltod, Abort oder der Geburt von prematuren, schwachen Fohlen kommen. Bei den Fohlen können angeborene Defekte auftreten (PUGH et al., 1997).

Klinische Anzeichen für Hitzestress sind „Keuchen“, Depression, Anorexie, rektale Temperaturen $>40^{\circ}\text{C}$, Atemfrequenzen von $>40/\text{min}$ und Herzfrequenzen von $>90/\text{min}$. Die Unterlippe hängt herunter, es kommt zu starker Salivation, Gesichtslähmung, skrotaler Schwellung und/oder Ödemen bei männlichen Tieren. Es können Zittern, respiratorische Probleme und abnormes Verhalten auftreten. Wenn der Hitzestress bestehen bleibt, kommt es durch den Verlust an Flüssigkeit und Elektrolyten zur Schwächung der Tiere. Das Lama ist festliegend und durch die kardiovaskulären Belastung kommt es zu Ödemen in den Beinen und der Brust. Bei einer Körpertemperatur von $40,5\text{-}42,2^{\circ}\text{C}$ kann es zu Krämpfen und schließlich zum Tod des Tieres kommen (PUGH et al., 1997).

2.2.2 Bewertung der Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Infrarotthermographie

Infrarotthermographieaufnahmen können genutzt werden, um die Körperoberflächentemperaturen bei variierenden Umgebungsbedingungen zu ermitteln und um Regionen zu erfassen, an denen Körperwärme in unterschiedlicher Weise abgegeben wird. Diese Technik wurde bereits in mehreren Untersuchungen bei verschiedenen Tierarten erfolgreich verwendet (BAROW, 1998; KNÍŽKOVÁ et al., 2002; LOUGHMILLER et al., 2001; McCAFFERTY et al., 1998; PHILLIPS und HEATH, 2001).

Bei Wärmebelastungen kommt es bei Tieren unter anderem zu einer vermehrten Hautdurchblutung und Schweißbildung, damit durch Konvektion und Verdunstung, abhängig von der Felldicke, vermehrt Wärme an die Umgebung abgegeben wird (JESSEN, 2000).

Für Rinder konnte mit Hilfe von Thermographieaufnahmen eine deutliche Beziehung zwischen den Umgebungstemperaturen und den Oberflächentemperaturen an Kopf, Hals, Rumpf und Extremitäten beschrieben werden (BAROW, 1998; KNÍŽKOVÁ et al., 2002). Dabei wurde gezeigt, dass die Verteilung der Oberflächentemperaturen bei der Milchkuh sehr unterschiedlich sein kann und somit Messungen an einem einzigen Punkt meist sehr ungenau sind. Deshalb sollten die Messungen an größeren Flächen des Tieres erfolgen (KNÍŽKOVÁ et al., 2002).

Beim Lama ist bei Wärme eine vermehrte Hautdurchblutung und Kühlung durch Verdunstung vor allem für die Perinealgegend, zwischen den Beinen und im ventralen Teil des Abdomens, beschrieben (PUGH et al., 1997) (siehe auch Kapitel 2.2.1.2). Auch in den Thermographieaufnahmen von GERKEN (1997b) zeigt sich, dass die Wärmeabgabe beim ungeschorenen Lama vor allem auf diese Körperregionen begrenzt ist. Die Autorin zeigte außerdem auf, dass die Schur und die Schurart bei Lamas einen deutlichen Einfluss auf die Körperoberflächentemperaturen haben. Bei einer Umgebungstemperatur zwischen 25-28°C zeigten ungeschorene Tiere (Faserlänge 15-20 cm) eine Oberflächentemperatur im Rumpfbereich von 26,6°C. Mit der Hand geschorene Tiere zeigten einen Anstieg der Oberflächentemperatur um 5%, bei maschinengeschorenen Tieren (Faserlänge ≤ 1 cm) konnte eine starke Zunahme der Körperoberflächentemperatur im Rumpfbereich um 23% beobachtet werden.

2.3 Verhalten

2.3.1 Verhalten von Neuweltkameliden auf der Weide

SCHEIBE (1992) konnte bei Beobachtungen an Alpakas ein konstantes Zeitmuster der Aktivitäten im Jahresverlauf feststellen, wobei Aktivitätsbeginn und -ende eine signifikante Korrelation zu Sonnenauf- und Sonnenuntergang aufwiesen. Die Futteraufnahmezeitdauer und -häufigkeit sanken in der Mitte des Jahres, während die Aktivitätshäufigkeit anstieg. Im Stall wurde ein nächtlicher Aktivitätsschub um Mitternacht (Winter) bzw. gegen Morgen (Sommer) registriert.

Die Tagesprofile der Aktivitäten spiegeln die Weidebedingungen wieder. Bei guten Weidebedingungen im Sommer erfolgte die Futteraufnahme über den gesamten Tag verteilt, während im Winter bei geringem Aufwuchs zu den Fresszeiten intensiv, aber meist erfolglos gesucht wurde und die Aktivität daher am Nachmittag deutlich anstieg.

Diese Beziehung zwischen der Aktivität und der Futterverfügbarkeit konnte auch von MILZ (2001) nachgewiesen werden. Die Hauptaktivitäten der Lamas bei Tag (Stehen und Grasens) werden durch saisonale Parameter, wie z.B. Futterverfügbarkeit auf der Weide, beeinflusst, so dass am Ende der Weidesaison, wenn die Futterverfügbarkeit abnimmt, Stehen und Grasens zunehmen und die Tiere über den Tag verteilt weniger liegen (MILZ, 2001).

2.3.2 Einfluss von Klimafaktoren

2.3.2.1 Temperatur

Nach MILZ (2001) liegen Lamas im Tagesmittel gleich viel unabhängig von der Temperatur, wobei Liegen in Brustlage mit aufliegender Kopf bei Wärme signifikant höher als bei kühler Witterung zu beobachten ist. Außerdem wurden die Lamas bei kühler Witterung nie in Seitenlage beobachtet.

Lamas grasen temperaturunabhängig etwa gleichviel über den Tag verteilt, ändern aber die Verteilung über den Tag. Sie fressen bei Wärme am Spätmittag und Mittag mehr als bei Kälte. Die Wiederkautätigkeit (definiert als Wiederkauen je Zeiteinheit) lag bei Wärme niedriger als bei kühler Witterung (MILZ, 2001).

DE LAMO et al. (1998) beschreibt für Guanakos, dass bei Temperaturen zwischen 0°C und 10°C Körperhaltungen eingenommen werden, die die thermalen Fenster in Axillar- und Flankengegend auf bis zu 5-7% der Gesamtoberfläche verkleinern. Bei Temperaturen >10°C vergrößern die Tiere die thermalen Fenster auf bis zu 22%. Bei einer anderen thermoregulatorischen Verhaltensweise legen sich die Guanakos mit ihren Hintervierteln in Windrichtung nieder. Diese beiden Verhaltensweisen können zu Energieeinsparungen von bis zu 67% führen.

FOWLER (1998) beschreibt, dass Lamas bei hohen Außentemperaturen ihre Gliedmaßen im Wasser „baden“, wodurch es zu einer verstärkten Verdunstungskühlung kommt.

2.3.2.2 Niederschlag

Nach MILZ (2001) zeigen Lamas bei Niederschlag eine erhöhte Liegeaktivität sowohl in Brustlage mit aufgelegtem Kopf als auch in Brustlage mit erhobenem Kopf, woraus eine entsprechende Abnahme der Stehaktivität bei Regen resultiert. Die erhöhte Liegefrequenz könnte thermoregulatorisch von Nutzen sein, da die thermischen Fenster, die Flächen zur effektiven Wärmeabgabe darstellen, somit verdeckt werden (FOWLER, 1998). Auch kommt es nach FOWLER (1998) an nassen Gliedmaßen und am Kopf zu einem vermehrten Wärmeverlust, was die Tiere zu einer Reduktion der Wärmeabgabe veranlasst. Eine geeignete Methode hierzu stellt das Niederlegen mit unter den Rumpf geschlagenen Beinen dar (MILZ, 2001).

Bei Regen zeigen Lamas zudem eine hoch signifikant erhöhte Gehaktivität (MILZ, 2001).

2.3.2.3 Wind

Lamas liegen bei Wind schwach signifikant weniger als bei Windstille. Die Unterschiede in den Aktivitäten „Stehen“ und „Fressen“ sind im Vergleich zu dem Verhalten bei Windstille schwach bzw. hoch signifikant, wobei die Tiere bei Wind mehr stehen und fressen. Die Aktivitäten Gehen und Wiederkauen bleiben unbeeinflusst (MILZ, 2001).

Die verminderte Liegehäufigkeit der Tiere bei Wind ist nicht mit thermoregulatorischen Maßnahmen zu begründen. Da die verlängerte Stehdauer aber mit Futteraufnahme verbunden wird und die Tiere so mehr metabolische Wärme erzeugen, wäre es möglich, dass sie damit eventuelle Wärmeverluste ausgleichen (MILZ, 2001).

2.4 Wolle

2.4.1 Charakteristika der Lamawolle

Im internationalen Sprachgebrauch werden die Haare von Neuweltkameliden als „Fasern“ bezeichnet und den feinen Tierhaaren zugeordnet, wie z.B. Mohair, Kaschmir, Angora, Kamel und Yak (GERKEN, 1997a). Die Feinheit der Alpakafaser (Suri) ist noch über der des Angorakaninchens anzusiedeln (WILLIAMS, 1993).

Die Haarfollikel sind Einstülpungen der Epidermis in die Dermis. Neuweltkameliden haben zwei Typen von Haarfollikeln: einfache Follikel, die ein einziges dickes Haar beinhalten und komplexe Follikel mit mehreren feinen Haaren. Sowohl die Talg- als auch die Schweißdrüsen münden in die Haarfollikel (FALLET, 1961; FOWLER, 1998).

Verschiedene Autoren versuchen die Haarkleidmorphologie der Neuweltkameliden einzuteilen. FRANK et al. (2001) teilen die Lamawolle in zwei Typen ein, die sich in Faserlänge, Feinheit, Wellenart (gelockt oder gekräuselt), Wellenlänge und Medullation unterscheiden: uneinheitliches Vlies (double coated) und einheitliches Vlies (single coated).

Lama, Guanako und Vikunja besitzen ein uneinheitliches Vlies, während Alpakas ein einheitliches Vlies aufweisen (GERKEN, 1997a).

Die Wolle des Lamas hat einen zweischichtigen Aufbau (double coated). Die feine flaumige Unterwolle schützt vor Hitze und Kälte. Das weniger gekräuselte Schutzhaar schützt das Tier vor Nässe und Schmutz (WILLIAMS, 1993). Der Gehalt an Schutzhaar variiert bei Lamas von 0-20% und der Durchmesser dieser Haare liegt bei ca. 140-150 µm (FOWLER, 1998).

Zwar sind beim Alpaka die zwei Follikeltypen noch vorhanden, haben sich jedoch äußerlich so angeglichen, dass ein einheitliches Vlies entstanden ist. Bei den Wildformen ist die Zahl

der Unterhaare deutlich größer, als die der Deckhaare. Beim Vikunja sind nur ca. 3% des Vlieses Deckhaare (FALLET, 1961).

Die Feinheit der Wolle variiert innerhalb eines Tieres, wobei die dicksten Fasern auf dem Rücken und an den Seiten des Tieres zu finden sind (FOWLER, 1998).

Die Faser der Neuweltkameliden besitzt einen mehr oder weniger hohlen Kern (WILLIAMS, 1993). Der entlang der Haarachse verlaufende Markstrang kann geschlossen oder unterbrochen ausgebildet sein (GERKEN, 1997a). Der Grad der Medullation nimmt mit zunehmendem Faserdurchmesser zu, wobei das Schutzhaar meistens nicht medulliert ist (FOWLER, 1998; WILLIAMS, 1993). Die Medullation erklärt die besondere Leichtigkeit der Faser im Verhältnis zum Volumen (GERKEN, 1997a).

Diese Eigenart der Wolle erklärt auch deren sehr gute Isolationsfähigkeit, dehbare Stärke und Beständigkeit. Die Lamawolle ist im Vergleich zur soliden Faser (nicht medulliert) der Schafwolle sehr arm an Fett und Lanolin. Auch schrumpft die Lamawolle im Gegensatz zur Schafwolle nicht beim Waschen oder Verarbeiten (WILLIAMS, 1993).

Lamas haben nur einen teilweisen Wechsel von Winterfell zu Sommerfell, während wilde Neuweltkameliden und Kamele einen Fellwechsel aufweisen (FOWLER, 1998). In Europa werden zwischen Juli und Dezember 30-50% der Haare abgestoßen (RUSSEL und REDDEN, 1994). Beim Alpaka hingegen scheint es keinen ausgeprägten Haarwechsel zu geben (GERKEN, 1997a). Die Haarqualität kann durch verschiedene Faktoren, wie z.B. Tageslichtlänge, Temperatur, Ernährung, Alter, Geschlecht und Scherhäufigkeit beeinflusst werden. Die genetischen Faktoren spielen jedoch die Hauptrolle bei der Faserausprägung (FOWLER, 1998; GERKEN, 1997a), wobei RUSSEL und REDDEN (1994) keinen Einfluss der Ernährung auf das Haarwachstum nachweisen konnten.

2.4.2 Schur

Alpaka- und Lamawolle wächst relativ langsam (FOWLER, 1998). Unter europäischen Bedingungen liegt das Haarwachstum im Jahresmittel bei Lamas zwischen 304 und 314 $\mu\text{m}/\text{d}$ (Oberhaar) und 162 und 164 $\mu\text{m}/\text{d}$ (Unterhaar), bei Alpakas zwischen 186 und 223 $\mu\text{m}/\text{d}$ (RUSSEL und REDDEN, 1994). Nach der Schur dauert es ca. zwei Jahre, bis die Wolle komplett nachgewachsen ist. Dann beträgt der Ertrag bei der Schur eines Lamas 2,5-5 kg (WILLIAMS, 1993) bzw. 1,5-3,5 kg (GERKEN, 1997a), wobei die Schur der Lamas mehr der Prävention von Hitzestress als der Wollproduktion dient (FOWLER, 1998).

2.4.2.1 Schurformen

Die Komplettschur (Modified Pasture Cut) wird v. a. von Alpakahaltern angewandt. Von den Ohren bis zu den Knien wird das gesamte Tier geschoren. Um Sonnenbrände nach der Schur zu vermeiden, kann der Rumpf nur bis zur Hälfte geschoren werden und die Wolle auf dem Rücken stehen gelassen und nach der Schur heruntergekämmt werden (PUGH et al., 1997; WILLIAMS, 1993). Die Komplettschur bietet sich nicht an, wenn das Lama zu Showzwecken genutzt wird. Um dennoch den thermoregulatorischen Mechanismen Rechnung zu tragen, bieten sich Teilschuren an, die die Beurteilung der Bewollung zulassen, aber gleichzeitig auch eine vermehrte Thermoregulation des Tieres erlauben (PUGH et al., 1997).

Bei den Teilschuren gibt es verschiedene Formen (Abb. 4).

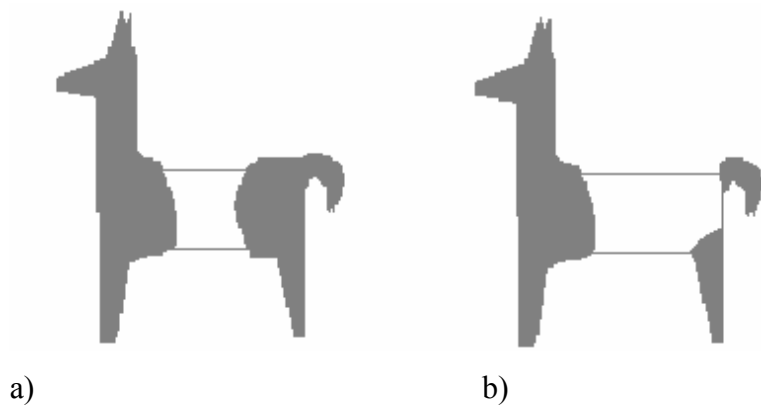


Abb. 4: „Rumpfschnitt“ (a) und „modifizierter Löwenschnitt“ (b) (nach PEARSON, 2000)

Der „Rumpfschnitt“ ist der Stil, bei dem am wenigsten Wolle entfernt wird. Er eignet sich besonders gut für junge, noch nicht zuchtreife Lamas. Hierbei wird nur der Rumpf geschoren. Der „modifizierte Löwenschnitt“ ist gut geeignet für Zuchthengste, da er eine gute Luftzirkulation an den Hoden gewährt und durch die geschorene Körpermitte eine gute Thermoregulation erlaubt. Dieser Stil ist dem „Rumpfschnitt“ sehr ähnlich, nur dass hier auch die Perinealregion geschoren wird (PEARSON, 2000).

2.4.2.2 Einfluss der Schur auf physiologische Parameter und Verhalten

NAVARRE et al. (2001) untersuchten zwei Gruppen von Alpakas über drei Sommermonate in Alabama. Eine dieser Gruppen war bis auf 2 cm geschoren. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zeigten sich in der Rektaltemperatur und in der Natriumserumkonzentration. Die mittlere Rektaltemperatur war bei den nichtgeschorenen

Tieren an vier Messzeitpunkten, im Gegensatz zu einem Messzeitpunkt bei den geschorenen Tieren, über dem physiologischen Wert. Der Natriumgehalt war zu allen Zeitpunkten im Normbereich, wobei die geschorenen Tiere niedrigere Natriumserumkonzentrationen aufwiesen als die ungeschorenen.

Die Rektaltemperatur der geschorenen Gruppe war positiv mit der maximalen und minimalen Umgebungstemperatur korreliert. Der Natriumgehalt des Serums war bei beiden Gruppen negativ mit der maximalen und minimalen Umgebungstemperatur korreliert. Daraus folgerten die Autoren (NAVARRE et al., 2001), dass es Unterschiede in der klinischen Untersuchung zwischen geschorenen und nicht geschorenen Tieren gibt, die mit der Umgebungstemperatur korreliert sind. Diese lassen darauf schließen, dass ungeschorene Alpakas weniger hitzetolerant sind als geschorene.

SCHEIBE (1992) beobachtete bei Alpakas im Berliner Zoo nach der Schur im Juni eine verlängerte Liegeaktivität mit einer signifikanten positiven Korrelation zur Tagesmitteltemperatur. Dieser Zusammenhang zwischen Temperatur und Aktivität war vor der Schur nicht erkennbar. Die Alpakas sind durch ihr effektives Vlies in ihren Aktivitätsmustern relativ unabhängig von der Außentemperatur (SCHEIBE, 1992). Das Vlies dient als positive und negative Wärmebarriere, d.h. als wirksamer Schutz gegen Kälte und Sonneneinstrahlung (GERKEN, 1997b).

2.4.2.3 Einfluss der Schur auf die Thermoregulation

Im Sommer erschwert ein dickes Fell die Wärmeabgabe. Das Fell von Lamas und Alpakas ist eine sehr gute Isolation gegen Kälte, verhindert aber gleichzeitig auch, dass Wärmestrahlung die Haut erreicht (FOWLER, 1998). Auch führt ein unzureichender Schutz der Haut durch die Wolle zu schweren Sonnenbränden (GERKEN, 1997b). Nach WILLIAMS (1993) sollten mindestens 2,5-5 cm Fell zum Schutz vor der Sonne am Tier verbleiben.

Deshalb ist eine Schur von stark bewollten Tieren, bei der 8-10 cm der Wolle stehen gelassen werden, nach FOWLER (1998) für Lamas als Schutz vor Hyperthermie am besten geeignet. Nach PUGH et al. (1997) ist eine Restlänge von 2,5-7,5 cm am effektivsten, während GERKEN (1997b) mit Thermographieaufnahmen beweist, dass ein per Hand geschorenes Lama mit einer Restwolllänge von 3-5 cm nur eine um 5% erhöhte Körperoberflächentemperatur im Vergleich zum ungeschorenen Lama zeigt. Erst bei einer Wolllänge unter 1 cm (mit der Maschine geschoren) kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Oberflächentemperatur (um 23%).

Offensichtlich gibt es eine kritische minimale Wolllänge, um Schutz vor thermalem Stress zu erlangen (GERKEN, 1997b).

Alpakas (eine Gruppe geschoren, eine Gruppe ungeschorene Tiere) wurden mittels Thermographie auf Unterschiede in der Körperoberflächentemperatur untersucht (HEATH et al., 2001). Durch die Schur kann die Wärme besser abgegeben werden, was zu einer kühleren Körperoberflächen- und Rektaltemperatur bei hohen Umgebungstemperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit führt.

Thermographische Studien des Skrotums zeigten niedrigere Oberflächentemperaturen bei geschorenen gegenüber ungeschorenen Alpakas (HEATH et al., 2001).

2.5 Fortpflanzung

2.5.1 Anatomie und Physiologie der männlichen Geschlechtsorgane von Neuweltkameliden

2.5.1.1 Skrotum und Hoden

Die Hodenhüllen setzen sich bei den Neuweltkamelen wie bei anderen Haussäugetieren aus folgenden Schichten zusammen (GAULY, 1997b; NICKEL et al., 1995):

1. Haut (*Cutis*) mit einer muskulös-elastischen Unterhaut (*Tunica dartos*)
2. zweischichtige *Fascia spermatica externa*, Abkömmling der oberflächlichen bzw. tiefen Rumpffaszie, mit dazwischengelegenen Schichten lockeren Bindegewebes
3. *M. cremaster*, eine Abspaltung des inneren schiefen und /oder queren Bauchmuskels mit der ihn deckenden *Fascia cremasterica*
4. *Fascia spermatica interna*
5. *Lamina parietalis* der *Tunica vaginalis*

Fascia spermatica interna und *Lamina parietalis* der *Tunica vaginalis* bilden gemeinsam den *Processus vaginalis* (GAULY, 1997b; NICKEL et al., 1995).

Das Skrotum liegt in der perinealen Region auf der Höhe des *Arcus ischiadicus* (SMITH und TIMM, 1997) ca. 9 cm unterhalb des Anus (BRAVO, 2002). Es liegt dem Körper im Gegensatz zu vielen anderen Haussäugetieren eng an. Diese körpernahe Lage des Skrotums könnte eine Adaptation darstellen, um erhebliche Verletzungen bei Hengstkämpfen zu vermeiden (FOWLER, 1998). Auch ist seine Haut sehr dick und bietet so einen zusätzlichen Schutz vor dem Biss anderer Artgenossen beim Kampf (GAULY, 1997b; NEELY, 1993).

Die Hoden sind bereits bei der Geburt abgestiegen. Sie sind von ovoider bis runder Form, prall-elastisch und im Skrotum frei beweglich (FOWLER, 1998). Sie liegen im Gegensatz zu

Bulle und Schafbock in dorso-ventraler Position, d. h. mit dem Nebenhodenkopf ventral und dem Nebenhodenschwanz dorsal (BRAVO, 2002).

Die Hoden von ausgewachsenen Lamas sind im Durchschnitt 5,4 cm (5 bis 7 cm) lang, 3,3 cm (2,5 bis 3,5 cm) breit und 24 g schwer (BRAVO et al., 1992; NEELY, 1993; SMITH und TIMM, 1997; SUMAR und BRAVO, 1986). Infolge mangelhafter Selektionsmaßnahmen weisen europäische Hengste gelegentlich kleinere Hoden auf (GAULY, 1997c). Die Hodengröße nimmt mit zunehmendem Alter der Hengste zu (Tab. 2). Zwischen Hodengröße und der Fruchtbarkeit der Hengste besteht ein enger Zusammenhang, wobei bei Tiere mit kleineren Hoden reduzierte Trächtigkeitsraten in der Herde zu erwarten sind (BRAVO, 1996).

Tab. 2: Größenentwicklung der Hoden von Lamas in Abhängigkeit vom Alter der Tiere (n=54) (BRAVO et al., 1992)

Alter	Länge (in cm)	Breite (in cm)	Gewicht (in g)
6 Monate	2,4	1,4	
12 Monate	3,4	2,3	5,1
18 Monate	3,5	2,6	14,0
24 Monate	3,9	2,3	17,4
30 Monate	4,4	2,5	17,8
36 Monate	4,5	2,7	18,2
Ausgewachsen	5,4	3,3	

2.5.1.1.1 Mikroskopischer Aufbau des Hodens

Der mikroskopische Aufbau des Hodens der Neuweltkameliden entspricht dem anderer Haussäugetiere (FOWLER, 1998).

Der Hoden besitzt einen Bauchfellüberzug, der mit der Organkapsel, *Tunica albuginea testis*, verwachsen ist. In der Organkapsel, die das Hodenparenchym unter Druck hält, verlaufen die Zweige der *A. testicularis* und *V. testicularis*. Von der *Tunica albuginea* strahlen Bindegewebssepten, *Septula testis*, in das Innere des Organs und teilen das Hodenparenchym in eine große Zahl kleiner Läppchen, *Lobuli testis*. Diese bestehen aus Samenkanälchen, *Tubuli seminiferi*, die in geraden Endabschnitten, *Tubuli recti*, auslaufen (NICKEL et al., 1995). Die *Tubuli seminiferi* haben bei Neuweltkameliden einen Durchmesser zwischen 174 und 237 µm (FOWLER, 1998).

Beim Lama verbinden septale Tubuli die *Tubuli seminiferi* mehrerer Läppchen miteinander und mediastinale Tubuli stellen den Anschluss an das Hodennetz, *Rete testis*, her. Das Rete vermittelt den Abtransport der Samenfäden zu den *Ductuli efferentes testis* im Nebenhoden (RODRIGUEZ et al., 1999). Die *Lamina propria* von den *Tubuli seminiferi* bis zum Nebenhoden ist beim Lama fibromuskulär und unterstützt dadurch möglicherweise den Spermientransport (RODRIGUEZ et al., 1999).

Im Raum zwischen den Tubuli liegen beim Lama ein bis zwei große, zentrale Lymphgefäße und Kapillaren. Dazwischen liegen die interstitiellen Zellen (Leydig-Zellen) zusammengepackt zu größeren Massen und längliche Gebilden. Der Kern dieser Zellen ist rund und es können ein oder zwei prominente Nucleoli erkannt werden (DELHON und LAWZEWITSCH, 1987). Diese Zellen sind Bildungsstätten männlicher Sexualhormone (Androgene) und in geringer Menge auch weiblicher Geschlechtshormone (Östrogene) (NICKEL et al., 1995).

Das relative interstitielle Zellvolumen ist bei Lamas größer als beim Bulle oder Schafbock (DELHON und LAWZEWITSCH, 1987).

Die Samenkanälchen des Hodens sind der Ort der Spermatogenese. Die Wand der Samenkanälchen wird einerseits durch eine bindegewebige Hülle und andererseits durch Sertoli-Zellen (Fußzellen), die der Ernährung der Samenzellen dienen, sowie durch verschiedene Stadien der heranwachsenden und reifenden Samenzellen gebildet (DELHON und LAWZEWITSCH, 1987).

Der Spermatogenesezyklus läuft in den *Tubuli seminiferi* nicht überall zeitlich synchron ab. Im Querschnitt durch einen Tubulus ist jeweils nur eine Entwicklungsstufe anzutreffen, während im Tubuluslängsschnitt verschiedene charakteristische Zellbilder der Spermatogenese wellenartig aufeinander folgen. Die verschiedenen Zellassoziationen, die als Phasen des Keimepithelzyklus bezeichnet werden, werden vor allem durch die unterschiedlichen Entwicklungsstufen und die Lage der Spermatiden bei der Transformation hervorgerufen (SCHNORR und KRESSIN, 2001). Dies gilt auch für die Hoden vom Lama (DELHON und LAWZEWITSCH, 1987)

Die Definition der Phasen des Keimepithelzyklus wird unterschiedlich gehandhabt. Für die Beurteilung des Keimepithels der Haussäugetiere eignet sich eine Einteilung des Keimepithelzyklus in acht Phasen. Bei einem achtphasigen Zyklus wird von einigen Autoren die zweite Reifeteilung (I-VIII), von anderen die Spermiation (1-8) als Endpunkt eines Zyklus angesehen (WROBEL, 1990). In Tabelle 3 sind die charakteristischen Merkmale der acht

Stadien aufgelistet, wobei die Stadienbezeichnung I-VIII, die zweite Reifeteilung als Endpunkt eines Zyklus ansieht. Die entsprechenden Stadienbezeichnungen 1-8 nehmen die Spermiation als Endpunkt eines Zyklus, so dass z.B. Stadium I dem Stadium 5 entspricht.

Tab. 3: Stadien des Hodenepithels mit den charakteristischen Merkmalen (BUSCH et al., 1991; SCHNORR und KRESSIN, 2001):

Stadium	Merkmale
Stadium I (= Stadium 5)	<ul style="list-style-type: none"> - Auftreten zahlreicher neu gebildeter Spermatiden (jüngere Generation) - Daneben Spermatiden der älteren Generation mit bereits typischer Spermienkopfform
Stadium II (= Stadium 6)	<ul style="list-style-type: none"> - Granuläre Chromatinkondensation in den Zellkernen jüngerer Spermatiden - Aufgabe des Kontakts zwischen Sertolizellen und älteren Spermatiden
Stadium III (= Stadium 7)	<ul style="list-style-type: none"> - Jüngere Spermatiden erscheinen noch nahezu kugelförmig - Zu Spermien heranreifende Spermatiden der älteren Generation erscheinen um das Kanälchenlumen angeordnet
Stadium IV (= Stadium 8)	<ul style="list-style-type: none"> - Spermiation abgeschlossen, keine Spermien mehr nachzuweisen - Spermatiden mit ovoidem Zellkern und der Basalmembran zugewandtem Akrosompol
Stadium V (= Stadium 1)	<ul style="list-style-type: none"> - zunehmende Streckung der Spermatiden
Stadium VI (= Stadium 2)	<ul style="list-style-type: none"> - zunehmende Elongation der Zellkerne und Bündelung der Spermatiden unter Kontaktaufnahme mit den Sertolizellen
Stadium VII (= Stadium 3)	<ul style="list-style-type: none"> - Spermatiden mit bereits charakteristischer Spermienkopfform und stark tingierbarem Halsteil
Stadium VIII (= Stadium 4)	<ul style="list-style-type: none"> - zwischen den Zytoplasmafortsätzen der Sertolizellen auftretende, „Samenähren“ bildende Spermatiden

Der Keimepithelzyklus des Lamas lässt sich ebenfalls in acht Stadien untergliedern, wobei die Stadieneinteilung bei DELHON und LAWZEWITSCH (1987) die Spermiation als Endpunkt

eines Zyklus nimmt. Die Stadien 1 bis 8 sind im histologischen Bild in 9,9%, 12,5%, 17,7%, 14,1%, 5,8%, 8,1%, 13,0% und 18,9% der quergeschnittenen Tubuli zu erkennen (DELHON und LAWZEWITSCH, 1987).

2.5.1.1.2. Proliferation der Spermatogonien

Da Spermatogonien die Ursprungszellen der Spermatogenese sind, ist dieser Zelltyp von besonderem Interesse (STEGGER et al., 1998). Durch die Verwendung von Proliferationsmarkern und deren Verteilung im Hodengewebe kann die mitotische Aktivität der Spermatogonien festgestellt werden (STEGGER et al., 1998). Als Proliferationsmarker für Spermatogonien werden in der Literatur unter anderem das Tissue-Polypeptid-Specific-Antigen (TPS) (BLOTTNER und ROELANTS, 1998), das Proliferating-Cell-Nuclear-Antigen (PCNA) (CHIEFFI et al., 2000; MAYMON et al., 2003) und das Ki-67-Antigen (KIMURA et al., 2003; STEGER et al., 1998; WROBEL et al., 1993; WROBEL et al., 1996) verwendet. Im Folgenden soll beispielhaft näher auf das Ki-67 Protein eingegangen werden.

Das antigene Ki-67 Protein wurde als ein protease-empfindliches, basisches Protein identifiziert, das sich wiederholende Elemente beinhaltet und einen hohen Gehalt an Prolin und Lysin aufweist (DUCHROW et al., 1994). SCHLÜTER et al. (1993) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass die Expression von Ki-67 für die Aufrechterhaltung des Zellzyklus essentiell ist. Das Ki-67 Antigen ist im Zellkern nur während der S-, G₂-, M- und späten G₁-Phase des Zellzyklus präsent und hierbei besonders reichlich während der G₂- und der M-Phase (GERDES et al., 1984; SASAKI et al., 1987). Der Nachweis von Ki-67 Antigen mit dem monoklonalen Antikörper MIB-1 kann somit als Marker für die Zellproliferation genutzt werden (BECKER et al., 1992).

Direkt nach der Mitose ist der Gehalt an Ki-67 am niedrigsten (DU MANOIR et al., 1991) und kann sich dem histochemischen Nachweis entziehen. Das kann auch eine Folge der sehr kurzen biologischen Halbwertszeit von 1-2 Stunden sein (DUCHROW et al., 1994).

WROBEL et al. (1993) konnten zeigen, dass Ki-67 mit dem monoklonalen Antikörper MIB-1 (BECKER et al. 1992) auch in bovinem Gewebe nachzuweisen ist.

Im Hoden von Bullen lässt sich das folgende Verteilungsmuster des Ki-67 Proteins erkennen. Es zeigen sich 29,9% positive Kerne bei den A-Spermatogonien (n=34), 44,7% bei den I-Spermatogonien und 47,1% bei den B-Spermatogonien. Keimzellen vom Präleptotän bis zu den jungen Spermatiden in der frühen Golgi-Phase zeigen ein charakteristisches MIB-1 Muster in ihren Zellkernen. Im Präleptotän sind die Kerne intensiv gefärbt, wobei diese Reaktion im Leptonän und Zygotän fehlt. Während der langen Zeit des Pachytäns zeigen die

Kerne wieder eine positive Reaktion, die eng mit den Chromosomen verbunden ist. Diese Färbung nimmt im Diplotän stark ab, bleibt aber sichtbar. Kurz vor der Metaphase von Meiose I verstärkt sich die Färbung der Chromosomen wieder und die Kerne bleiben in den folgenden Phasen der Meiose I, während der kurzen Zeit der sekundären Spermatozyten, während Meiose II und in der frühen Golgi-Phase der Spermiogenese gefärbt. Anschließend verschwindet die MIB-1 Reaktion, so dass die Spermatiden in der späten Golgi-, der Kappen-, der Akrosomen- und der Reifungsphase negativ sind (WROBEL et al., 1996). Beim Menschen kommt es mit dem MIB-I Antikörper zu keiner Anfärbung von postspermatogonischen Zellen (STEGGER et al., 1998).

2.5.1.1.3 Thermoregulation der Hoden

Für eine normale Spermatogenese der meisten Säugetiere ist es essentiell, dass die Hodeninnentemperatur relativ gleichmäßig zwischen 2°C und 6°C unter der Körpertemperatur liegt (SETCHELL, 1978; WAITES, 1970).

Beim Schafbock und beim Bullen ist die Thermoregulation der Hoden weitgehend bekannt. Ein wichtiger Wärmeregulierer ist das Blutgefäßsystem im *Plexus pampiniformis*. Der *Plexus pampiniformis* ist ein komplexes venöses Netzwerk, das die stark gewundene *A. testicularis* umgibt. Es funktioniert als gegenläufiger Wärmeaustauscher zwischen arteriellem und venösem Blut. Beim Schafbock ist die Temperatur des arteriellen Blutes im Hoden dadurch um 4,5-5,8°C niedriger (WAITES und MOULE, 1961). Das Skrotum weist einen positiven und die Oberfläche des Hodens einen negativen Temperaturgradienten auf. Diese entgegengesetzten Temperaturgradienten sind auf die Blutversorgung des Hodens zurückzuführen und resultieren in einer einheitlichen Hodeninnentemperatur (KASTELIC et al., 1996a)

Die skrotale Haut ist normalerweise dünn und relativ haarlos. Durch ein ausgeprägtes subkutanen Blut- und Lymphsystem mit sehr oberflächlich gelegenen Gefäßen wird die Wärmeabgabe erleichtert. Die glatten Muskelzellen in den kutanen Arteriolen im Skrotum sind sympathisch innerviert. Eine Erhöhung der Skrotaltemperatur führt somit zu einer reflexgesteuerten Vasodilatation dieser Arteriolen (LANGLEY und ANDERSON, 1985; SETCHELL, 1978).

Vor allem der Schafbock besitzt auf seinem Skrotum viele apokrine Schweißdrüsen (WAITES und VOGELMAYR, 1962). Diese Schweißdrüsen sind größer als auf der übrigen Körperoberfläche und können ihre Leistung im Sommer fast verdoppeln (WAITES und VOGELMAYR, 1962 und 1963).

Die glatten Muskelfasern der *Tunica dartos* können sich je nach Ausgangslage zusammenziehen oder sich entspannen. Über Thermorezeptoren auf der Skrotalhaut führt eine erhöhte Temperatur zu einer Relaxation der *Tunica dartos* und somit zu einer Oberflächenvergrößerung, das wiederum eine gesteigerte Wärmeabgabe erleichtert (AMANN, 1993; SETCHELL, 1978).

Der kräftige *M. cremaster* kann die Lage des Hodens zum Körper hin verändern und so den Hoden jeweils in die Nähe der optimalen Temperatur bringen (BLANCHARD et al., 1991). Im Gegensatz zur *Tunica dartos* ist der *M. cremaster* ein quergestreifter Muskel und kann die Kontraktion nicht über einen längeren Zeitraum beibehalten (SETCHELL, 1978).

Neben den lokalen Temperaturregulationsmechanismen antwortet der Organismus auch generalisiert auf eine erhöhte Hodentemperatur mit einer veränderten Stoffwechsellage, Atem-, Herzfrequenz und Blutflussrate (WAITES, 1962). WAITES (1970) sieht die Erhöhung der Atemfrequenz als Ausdruck eines lokalen Reflexes, der seinen Ausgang von den Thermorezeptoren des Skrotums nimmt. Wenn die Skrotaltemperatur von Böcken 38-40°C erreicht, steigt die Atemfrequenz stark an (200/min), wobei es zu einer peripheren Vasodilatation kommt und die Rektaltemperatur innerhalb einer Stunde um 2°C gesenkt werden kann (WAITES, 1962).

Beim Lama ist durch die extreme Körpernähe des Skrotums und der Hoden der deutliche Temperaturunterschied zwischen Körper und Hoden nicht so gegeben, wie bei unseren heimischen Haussäugetieren. Ob darin der hohe Anteil morphologisch abnormer Spermien im Ejakulat von Neuweltkamelen begründet ist, konnte noch nicht vollständig geklärt werden (GAULY, 1997a).

Das Skrotum ist nicht pendelnd, wie bei den meisten domestizierten Wiederkäuern, deshalb haben Änderungen der Körpertemperatur einen schnellen und tief greifenden Effekt auf heranreifende Spermien. Ein längeres pendelndes Skrotum führt bei Schafbock und Bulle zu einer Oberflächenvergrößerung im Bereich des *Plexus pampiniformis*. Hieraus resultiert eine gesteigerte Wärmeabgabe in dieser Region. Dies könnte dazu beitragen, dass die Temperatur des arteriellen Blutes und somit auch die Temperaturen des Hodens und des Nebenhodens verringert werden (COULTER und KASTELIC, 1994), da das arterielle Blut die Hauptquelle der Wärme im Hoden ist (BARROS et al., 1999).

Skrotale Ödeme sind ein typisches Zeichen von Hyperthermie bei männlichen Lamoiden (FOWLER, 1998). Eine bekannte Möglichkeit der kurzfristigen Thermoregulation ist auch

beim Lama der *Musculus cremaster*, der je nach Umgebungstemperatur kontrahiert oder entspannt werden kann (BRAVO, 2002).

2.5.1.1.4 Skrotaltemperaturmessung mit Hilfe der Infrarotthermographie

Die Oberflächentemperatur des Skrotums von Schafböcken und Bullen ist abhängig von der Umgebungstemperatur (KASTELIC et al., 1996a und 1996b). Sie liegt beim Schafbock 8,9°C unter der Rektaltemperatur. Die Differenz zwischen Skrotaltemperatur und tiefer Hodentemperatur beträgt beim Schafbock 4,8°C (COULTER et al., 1988) und beim Bullen je nach Umgebungstemperatur 2,9-4,0°C (KASTELIC et al., 1997).

KASTELIC et al. (1996a) wies mittels Infrarotthermographie einen dorso-ventralen Temperaturgradienten des Skrotums beim Bullen (2,1°C) und Schafbock (3,5°C) nach. Nach PUROHIT et al. (1985) liegt der Temperaturgradient des Skrotums bei Bullen bei 4-6°C. Der Temperaturgradient nimmt mit zunehmender Umgebungstemperatur ab (KASTELIC et al., 1997).

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Skrotaltemperatur und den Spermaparametern. Bullen mit abnormem Thermogramm der Hoden zeigten eine erhöhte Prozentzahl an morphologisch abnormen Spermien und eine geringere Motilität der Spermien im Ejakulat. Auch konnte gezeigt werden, dass bei Bullen mit abnormem Thermogramm der Temperaturgradient des Hodens verringert ist (LUNSTRA und COULTER, 1997). Thermographieaufnahmen des Skrotums können demnach bei Bullen als diagnostisches Mittel angewandt werden, um Hodendefekte darzustellen, wenn kein Sperma gewonnen werden kann (PUROHIT et al., 1985).

Die Oberflächentemperatur des Skrotums korreliert mit der Hodeninnentemperatur (COULTER et al., 1988). Die Infrarotthermographieaufnahmen des Skrotums erlauben somit eine sichere Aussage über die Thermoregulation des Hodens. KASTELIC et al. (1997) können hingegen beim Bullen nur geringe Korrelationen zwischen Skrotaltemperatur und Hodeninnentemperatur feststellen, wodurch ein Rückschluss von der Skrotaltemperatur auf die Hodeninnentemperatur nach diesen Autoren nicht zulässig ist.

KASTELIC et al. (1996b) beschreiben die Auswirkungen von Umweltfaktoren, die Thermographieaufnahmen des Skrotums beim Bullen beeinflussen können. Demnach gibt es keine tageszeitlichen Schwankungen. 30 Minuten nach der Fütterung kommt es zu einem kurzen Temperaturanstieg, ebenso nach einer Liegeperiode des Tieres über 1 h. Zu einem Temperaturabfall kommt es durch Befeuchten des Skrotums.

COULTER et al. (1997) zeigten einen Einfluss des Energiegehaltes des Futters auf die Skrotaltemperaturen. Bei energiereicher Fütterung kam es zu einer Verkleinerung des Temperaturgradienten, wobei die Autoren eine vermehrte Fetteinlagerung im Skrotum als Ursache für die Reduktion des Temperaturgradienten nennen.

2.5.1.2 Nebenhoden und Samenstrang

Bei Neuweltkameliden liegt der Nebenhoden dem Hoden dicht an (NEELY, 1993). Er befindet sich im Gegensatz zu Bulle und Schafbock an der dorso-cranialen Seite des Hodens (Abb. 5) (BRAVO, 2002). Der Nebenhoden besteht aus dem Kopf (*Caput epididymidis*), dem Körper (*Corpus epididymidis*) und dem Schwanz (*Cauda epididymidis*). Der Nebenhoden des Lamas kann histologisch und histochemisch in 6 Segmente untergliedert werden (DELHON und LAWZEWITSCH, 1994).

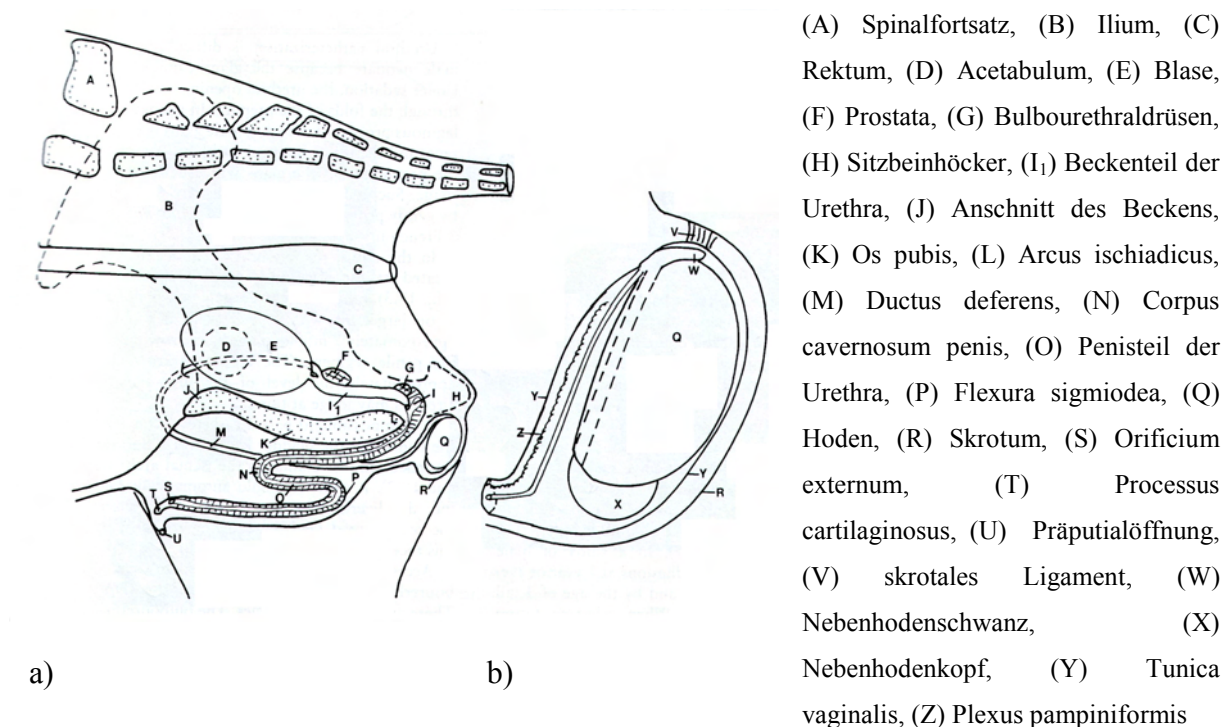


Abb. 5: (a) Laterale Ansicht der männlichen Genitalorgane eines Neuweltkamels mit Vergrößerung (b) des Skrotal- und Hodenbereiches (nach FOWLER, 1998)

Der im Samenstrang verlaufende *Ductus deferens* erstreckt sich vom Nebenhodenschwanz bis zur Blase und ist bei Neuweltkameliden 35-40 cm lang (BRAVO et al., 2000; BRAVO, 2002; SMITH et al., 1994). Er gliedert sich in zwei Abschnitte: der eigentliche *Ductus deferens* und

eine Dilatation von 2-4 mm, der *Ampulla*. Histologisch besitzt der *Ductus deferens* ein zylindrisches Flimmerepithel.

2.5.1.3 Geschlechtsdrüsen

Bei den Neuweltkameliden sind die akzessorischen Geschlechtsdrüsen auf ein Paar Bulbourethraldrüsen und eine kleine Prostata limitiert (Abb. 5). Sie besitzen keine Vesikulardrüsen (LaRUE JOHNSON, 1989).

Die *Ampulla* (eine Dilatation des *Ductus deferens*) besitzt tubuläre Drüsen mit einem zylindrischen Epithel (BRAVO et al., 2000; BRAVO, 2002). Untersuchungen an Alpakas zeigten, dass in der *Ampulla* nur relativ wenige Spermien zu finden sind. Dies führte zu der Annahme, dass bei Alpakas die *Ampulla* nicht wie beim Bullen und Schafbock als Spermienpeicher dient (BRAVO et al., 2000).

Die Bulbourethraldrüsen liegen dorsal und lateral zu der Urethra im Becken am *Arcus ischiadicus*. Sie sind mandelförmig und ca. 2 cm groß (BRAVO et al., 2000; FOWLER, 1998).

Die Prostata ist klein (3x3x2 cm) (FOWLER, 1998) und setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Der Körper der Prostata umfasst zwei laterale Lappen, die durch den Isthmus verbunden werden (BRAVO, 2002). Sie umgibt den Beckenanteil der Urethra (SMITH et al., 1994).

Die sekundären Geschlechtsdrüsen tragen nur wenig zur Ejakulatmenge bei, weshalb das Gesamtvolumen des Ejakulates relativ gering ist und eine sehr zähflüssige Konsistenz hat (GAULY und LEIDINGER, 1995).

2.5.1.4 Penis und Präputium

Der Penis aller Neuweltkameliden ist vom fibroelastischen Typ. Er besitzt eine präskrotal gelegene sigmoide Flexur (Abb. 5), die schon bei Tieren ab 1 Jahr vorhanden ist (BRAVO, 2002). Ein vollständig erigierter Penis hat eine Länge von ca. 40 cm. Der Durchmesser des Penis nimmt bei der Erektion nicht zu und liegt bei 0,8 – 1,0 cm (NEELY, 1993). Es lassen sich am Penis drei Abschnitte einteilen: Basis, Körper und Glans. Der Körper des Penis hat eine zylindrische Form und die *Glans penis* endet an einem festen *Processus cartilagineus* mit einem in Uhrzeigerrichtung geschwungenem Haken. Es wird vermutet, dass dieser dazu dient, beim Deckakt die Zervix zu penetrieren. Das *Orificium externum* der Urethra sitzt an der Spitze eines ca. 1 cm kurzen *Processus urethralis*. (BRAVO, 2002; KUBICEK, 1974; SUMAR, 1996)

Das Präputium der Lamas ist dreieckig und klein. Es lässt nur eine minimale Pendelbewegung des Penis zu (FOWLER, 1998). Die Präputialöffnung ist im relaxierten Zustand nach caudal gerichtet. Dementsprechend wird auch der Harn nach caudal abgesetzt (SMITH et al., 1994). Der craniale Präputialmuskel zieht bei einer Erektion das Präputium nach vorne, so dass die Präputialöffnung nach cranial zeigt und der Penis ausgeschachtet werden kann (FOWLER, 1998).

2.5.2 Fortpflanzungsphysiologie der männlichen Neuweltkameliden

2.5.2.1 Geschlechts- und Zuchtreife

Männliche Lamas können schon im Alter von 10 bis 12 Monaten fertile Spermien bilden (SMITH et al., 1994). Es liegen Berichte vor, dass Hengste im Alter von 6 Monaten Nachkommen gezeugt haben. Einige Hengste sind allerdings auch mit 3 Jahren noch nicht deckfähig (LaRUE JOHNSON, 1989). Dies liegt an der Verklebung zwischen Präputium und Penis, die beim Jungtier eine vollständige Erektion und das Ausschachten des Penis verhindert (Abb. 6). Sie löst sich erst nach wiederholter sexueller Stimulation (FOWLER, 1998). Die Lösung dieser Verklebung ist zudem alters- und testosteronabhängig (BRAVO, 2002). Beim Alpaka ist im Alter von 12 Monaten die Verklebung erst bei 8% der Hengste gelöst. Mit 2 Jahren ist diese Verklebung nur noch bei 20% vorhanden. Im Alter von 3 Jahren weist kein Hengst mehr Verklebungen auf (SMITH et al., 1994).

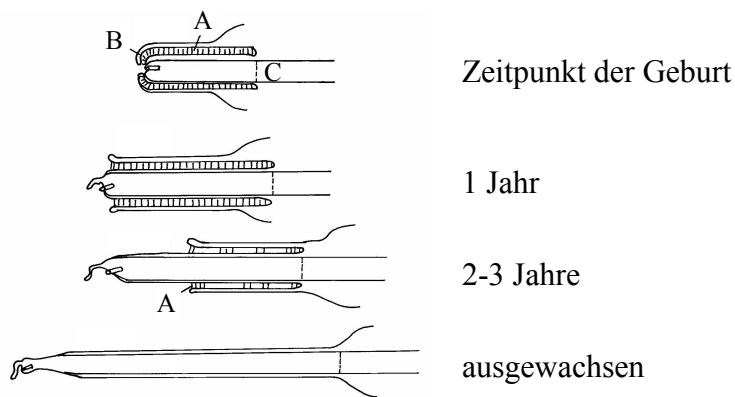


Abb. 6: Schema der präputialen Verklebung bei Neuweltkameliden in Abhängigkeit vom Alter der Tiere (FOWLER, 1998)

(A: Verklebung, B: Präputium, C: Penis)

Einige Hengste sind zwar anatomisch gesehen schon mit 1,5 Jahren deckfähig, aber bis zu einem Alter von 2,5 – 3 Jahre fehlen ihnen die entsprechende Libido und das Körpergewicht,

um die Stuten zum Niederlegen zu zwingen (FOWLER, 1998). Hengste werden in der Regel erst mit 2,5 Jahren zuchtreif, auch wenn sie vorher schon liegende Stuten bespringen (PUGH und GAULY, 1995).

2.5.2.2 Deckakt

Der Deckakt der Neuweltkameliden weist gegenüber unseren heimischen Haussäugetieren einige Besonderheiten auf: die Dauer der Ejakulation, der Ort der Spermaabgabe und das Verhalten des Hengstes (BRAVO, 2002).

Der Hengst verfolgt eine Stute, bis sie sich in Brustlage niederlegt (BRAVO, 2002). Einige Stuten legen sich sofort, die meisten aber entfernen sich vom Hengst, bis dieser aufspringt und sie mit Druck auf die Hinterbeine zum Hinlegen zwingt (FOWLER, 1998). Legt sich die Stute nicht, wird dieser Vorgang wiederholt. Ein Hengst mit guter Libido verfolgt eine Stute mindestens 10 Minuten bevor er aufgibt (FOWLER, 1998).

Liegt die Stute, bringt sich der Hengst in eine halbsitzende Position auf der Stute. Der Penis sucht die Vulva mit rotierenden Bewegungen, während der Hengst sein Becken näher zu dem der Stute bewegt (BRAVO, 2002). Nach Penetration der Vulva führt der Hengst den Penis durch Vagina und Zervix in den Uterus (BROWN, 2000). Während des gesamten Deckaktes gibt der Hengst kehlige Geräusche von sich (engl.: „orgling“). Die genaue Herkunft des Geräusches ist unbekannt, es wird aber vermutet, dass es durch Vibrationen des erschlafften weichen Gaumensegels hervorgerufen wird (FOWLER, 1998).

Die Deckdauer schwankt zwischen 5 und 50 Minuten, der Durchschnitt liegt bei 25 Minuten. Während der gesamten Zeit wird Sperma tropfenweise abgesetzt. In dieser Zeit können Cluster von Kontraktionen der Urethra palpiert werden, so dass man davon ausgeht, dass das Lama bei einem Deckakt von 22 Minuten 18 bis 19 einzelne Ejakulationen hat (LICHTENWALNER et al., 1996). Ein Teil des Ejakulats wird in der Vagina, der größte Teil im Uterus deponiert (BRAVO, 1994).

2.5.2.3 Sperma

2.5.2.3.1 Spermatogenese

Die Spermatogenese findet im Keimepithel der *Tubuli seminiferi* des Hodens statt und setzt erst mit Eintritt der Geschlechtsreife ein. Die Spermatogenese wird in zwei Stadien unterteilt: die Spermatozytogenese und die Spermiogenese. Zu Beginn der Spermatozytogenese teilen sich männliche Stammzellen, die Spermatogonien, als Abkömmlinge der Primordialkeimzellen, zunächst in zwei Tochterzellen, von denen eine als neue Stammzelle zurückbleibt. Die anderen unterliegen weiteren mitotischen Vermehrungsteilungen, an deren Ende primäre Spermatozyten entstehen. Diese durchlaufen eine erste Reifeteilung. Aus dieser Reifeteilung gehen sekundäre Spermatozyten hervor, die sich unmittelbar nach ihrer Entstehung in einer 2. Teilung erneut duplizieren und Spermatiden bilden (LIEBICH, 1999; SCHNORR und KRESSIN, 2001). Die Lebensdauer der sekundären Spermatozyten ist beim Lama sehr kurz (DELHON und LAWZEWITSCH, 1987). Von den beiden Reifeteilungen läuft die erste als Reduktionsteilung (Meiose I), die zweite als Äquationsteilung (Meiose II) ab. Am Ende dieser Teilungsvorgänge ist in den Spermatiden die Anzahl der Chromosomen und die DNS-Menge auf die Hälfte reduziert. Während der anschließenden Spermiogenese unterliegen die Spermatiden keinen weiteren Teilungen, sondern wandeln sich durch Zelldifferenzierung in Spermien um (LIEBICH, 1999; NEELY, 1993; SCHNORR und KRESSIN, 2001).

Die Spermatozoen werden in das Lumen der Tubuli abgegeben und gelangen dann mit Flüssigkeit vermischt in den Nebenhoden. Dort durchlaufen sie eine Reifungsphase, durch die sie die Beweglichkeit und Befruchtungsfähigkeit erhalten (DELHON und LAWZEWITSCH, 1994; NEELY, 1993). Bei den meisten Spezies dauert die Nebenhodenpassage im Durchschnitt 9-13 Tage. Im Nebenhodenschwanz werden die Spermien bis zur Ejakulation gelagert. Die Frequenz der Ejakulation bestimmt hier die natürliche Lagerdauer (NEELY, 1993).

2.5.2.3.2 Hormonelle Regulation der Spermatogenese

Die hormonelle Steuerung der Spermatogenese erfolgt über einen Regelkreis mit negativer Rückkopplung zwischen Hypothalamus, Hypophyse und Hoden (DÖCKE, 1994). Der Hypothalamus synthetisiert GnRH. Dieses gelangt über den Hypophysen-Pfortaderkreislauf zur Hypophyse. Die Freisetzung von GnRH erfolgt pulsatil und bewirkt im

Hypophysenvorderlappen (Adenohypophyse) die Ausschüttung der Hormone LH und FSH (LEICHTWEIß, 1996).

Das Glykoprotein LH gelangt über den Blutweg in die Hoden und bewirkt in den Leydig-Zellen die Bildung von Testosteron. Neben einer allgemeinen anabolen Wirkung fördern Androgene die Spermatogenese. Über die spezifischen Funktionen der Androgene gehen die Meinungen auseinander. Sie reichen von der Beeinflussung des Keimepithels, der Sertolizellen, der Permeabilität der Basalmembran bis hin zur Schaffung eines günstigen Milieus (SCHNORR und KRESSIN, 2001). Testosteron und seine Metaboliten (5 α -Dihydro-Testosteron, Östradiol) üben eine negative Feedback-Wirkung auf die hypothalamische GnRH-Sekretion und die hypophysäre Gonadotropinsekretion aus (DÖCKE, 1994).

Auch das Glykoprotein FSH gelangt über den Blutweg in den Hoden. Hier steuert es die Funktionen der Sertoli-Zellen, die unter anderem Androgene-binding-protein (ABP) bilden, das die Androgene vor einer weiteren Verstoffwechselung schützt (SCHNORR und KRESSIN, 2001). Mit Hilfe von ABP kann Testosteron die Blut-Hoden-Schranke überwinden (DÖCKE, 1994). Das Peptidhormone Inhibin, das von Sertoli-Zellen produziert wird, hemmt hauptsächlich die FSH-Freisetzung (GAULY, 1997b; LEICHTWEIß, 1996).

2.5.2.3.3 Spermagewinnung

In der Literatur werden verschiedene Methoden der Spermagewinnung bei Neuweltkameliden beschrieben: Elektroejakulation, intravaginales Kondom, vaginale Aspiration, intravaginales Schwämmchen und künstliche Vagina.

Die Spermagewinnung mittels Elektroejakulation kann nur am sedierten Tier erfolgen und erlaubt somit keine Beurteilung der Libido des Hengstes. Die Proben werden relativ häufig durch Urin verunreinigt (McEVOY et al., 1994; NEELY, 1993). Mit intravaginalen Kondomen werden sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt, da die Hengste oft frühzeitig abbrechen (BRAVO, 2002; LaRUE JOHNSON, 1989). Auch die intravaginalen Schwämmchen erzielen laut SAN MARTIN et al. (1968) bei der Spermagewinnung keine guten Ergebnisse. Die beiden letzteren Methoden haben den Nachteil, dass der Hengst nicht die Zervix penetriert, wie es bei einem normalen Deckakt der Fall ist, und somit meist frühzeitig abbricht (BRAVO, 2002). Bei der vaginalen Aspiration kann nur eine sehr geringe Menge Sperma gewonnen werden, da der größte Teil intrauterin abgesetzt wird. Auch ist es fast immer mit etwas Blut verunreinigt (BRAVO, 2002). Es gibt zwei chirurgische Methoden der Spermagewinnung. Zum einen beim normalen Deckakt durch eine Urethafistel, die operativ angelegt wurde (KUBICEK, 1974) zum anderen durch eine Nebenhodenspülung

(McEVOY, 1992). Beide Methoden sind für eine praxistaugliche Spermagewinnung ungeeignet.

Die Methode der Wahl ist die Verwendung einer künstlichen Vagina für Schafe (GAULY und LEIDINGER, 1995). Hierbei wird der Deckvorgang für den Hengst so natürlich wie möglich gestaltet und die Qualität des gewonnenen Ejakulates ist bei dieser Methode am besten (BRAVO et al., 1997; BRAVO et al., 2000). Nach JESSUP und LANCE (1982) können mit der künstlichen Vagina Dichten von 1×10^6 Spermien/ml erreicht werden, wohingegen bei der Elektroejakulation nur $0,25 \times 10^6$ Spermien/ml im Ejakulat aufzufinden sind.

Die künstliche Vagina kann entweder in ein Phantom eingebaut werden oder per Hand neben eine liegende Stute gehalten werden, auf die der Hengst aufspringt. Hierbei muss der Penis in die Vagina gelenkt werden (GAULY und LEIDINGER, 1995, LICHTENWALNER et al., 1996). Wird ein Phantom als Sprungpartner verwendet, müssen die Hengste auf dessen Annahme trainiert werden (BRAVO et al., 2000). Entscheidend für den Erfolg bei der Spermagewinnung mit der künstlichen Vagina ist, dass die Temperatur der Vagina während des gesamten Deckaktes konstant gehalten wird. Dies erfolgt mit Hilfe eines Heizkissens, das um die Vagina gewickelt wird (BRAVO et al., 1997).

Die Kenntnisse des Verhaltens bzw. der Ansprüche der Einzeltiere sind wichtige Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz der künstlichen Vagina. Die Vagina muss individuell für jedes Tier bezüglich der Parameter Innendruck und Temperatur eingestellt werden (GAULY, 1997a).

2.5.2.3.4 Spermacharakteristika

Da die Spermacharakteristika sehr von der Methode der Spermagewinnung abhängen, werden im Folgenden die Standardsamenparameter von Lamas beschrieben, die durch den Einsatz einer künstlichen Vagina gewonnen wurden. Es lassen sich makroskopische (Volumen, Farbe und pH-Wert) und mikroskopische Eigenschaften (Vorwärtsbeweglichkeit, Dichte, lebende/tote Spermien, morphologisch abnorme Spermien) unterscheiden.

Bei einer durchschnittlichen Deckdauer von $31,7 \pm 12,0$ min liegt das Volumen bei $3,0 \pm 1,9$ ml (LICHTENWALNER et al., 1996). Auch LaRUE JOHNSON (1989) kam in seinen Untersuchungen zu einer durchschnittlichen Menge von 3,0 ml. FOWLER (1998) gibt das durchschnittliche Volumen der Lamaejakulate mit $1,6 \pm 0,8$ ml an. Die Angaben von GAULY und LEIDINGER (1995) liegen mit 2,41 ml zwischen den beiden genannten Werten.

Nach LICHTENWALNER et al. (1996) liegt der pH-Wert bei $8,1 \pm 1,1$. GAULY (1997a) begründet den von ihm gefundenen relativ hohen pH-Wert (7,8) durch das Fehlen der Vesikulardrüse und den, bei anderen Arten, in der Drüse enthaltenen Komponenten. Der pH-Wert sinkt mit zunehmender Spermamenge.

Das Ejakulat der Lamas ist sehr viskös und milchig weiß (BRAVO, 2002). Mit steigender Ejakulatmenge wird das Ejakulat flüssiger. Dieser Effekt wird durch den steigenden Anteil der Sekrete der akzessorischen Geschlechtsdrüsen gegenüber den Spermatozoen im Ejakulat verursacht (GAULY, 1997a).

Durch die hohe Viskosität des Ejakulates werden die Spermien wie in einem Gel festgehalten, so dass keine Massenbewegung auftritt. Es kann nur eine individuelle Bewegung der Spermien durch den Spermischwanz beobachtet werden. Diese findet nur auf der Stelle statt und ist keine gerichtete Vorwärtsbeweglichkeit (BRAVO, 2002). LICHTENWALNER et al. (1996) fanden eine Vorwärtsbeweglichkeit von nur $23,7 \pm 20,0\%$, wohingegen die bei FOWLER (1998) angegebene Werte bei $61,7 \pm 23,5\%$ liegen.

Aufgrund der Viskosität des Spermas gestaltet sich die Dichtebestimmung relativ schwierig. Durch Enzymzusatz (Trypsin, Kollagenase) kann versucht werden, das Sperma zu verflüssigen. Die Spermiedichte liegt bei $1,0 \pm 0,8 \times 10^6$ Spermien/ml und einer gesamten Spermienzahl im Ejakulat von $2,9 \pm 3,1 \times 10^6$ (LICHTENWALNER et al., 1996). Die Dichten variieren tierindividuell und weisen auch bei demselben Tier gewisse Schwankungen auf (BRAVO, 2000; 2002). Nach GAULY und LEIDINGER (1995) liegt die angegebene mittlere Dichte mit $106,76 \times 10^6$ Spermien/ml wesentlich höher.

Durchschnittlich 15% der Spermien sind beim Lama tot (GAULY und LEIDINGER, 1995).

Der Anteil morphologisch normaler Spermien liegt bei $39,7 \pm 18,5\%$ (LICHTENWALNER et al., 1996). Nach GAULY und LEIDINGER (1995) liegt der Anteil morphologisch normaler Spermien mit 50,7-93,6% höher. BRAVO (2002) gibt Werte von 60-90% an.

Es können abnorme Köpfe ($20,1 \pm 19,9\%$), schwanzlose Köpfe ($8,7 \pm 8,9\%$), abnorme Akrosomen ($12,9 \pm 12,4\%$), abnorme Mittelstücke ($1,0 \pm 3,7\%$), zytoplasmatische Tropfen ($11,1 \pm 12,4\%$) und abnorme Schwänze ($6,6 \pm 12,0\%$) unterschieden werden (LICHTENWALNER et al., 1996).

Die meisten biochemischen Komponenten des Spermas von Alpakas sind mit denen der übrigen Haussäugetiere vergleichbar. Eine Ausnahme ist der relativ niedrige Gehalt an Fruktose (4-6mg/dl) und Zitronensäure (4,3 mg/dl), was eventuell auf das Fehlen der Vesikulardrüse zurückzuführen ist (GARNICA et al., 1995).

2.5.2.3.5 Einflüsse des Alters, der Rangordnung, der Deckdauer und wiederholter Ejakulationen auf die Spermaparameter

BRAVO (2002) ermittelte in Untersuchungen keine Korrelation zwischen dem Alter der Hengste und den Spermaparametern. Hierbei wurden die Spermaparameter von Hengsten in verschiedenen Altersstufen zwischen 1 und 10 Jahren miteinander verglichen. Auch wiederholte Ejakulationen in kurz aufeinander folgenden Zeitabständen (nach 2, 4, 12 und 24h) zeigten keinen Einfluss auf die Parameter Beweglichkeit, Anzahl lebender und Anzahl morphologisch normaler Spermien. Die Spermiedichte und das Volumen hingegen nahmen mit zunehmender Zahl der Ejakulationen ab. Die Länge des Deckaktes beeinflusst die verschiedenen Ejakulatparameter. Die Spermamenge und Spermienanzahl steigt mit zunehmender Deckdauer (GAULY, 1997a). Bei gleichzeitiger Haltung mehrerer Hengste in einer Gruppe sind die Spermaparameter abhängig von der Rangordnung des Tieres innerhalb der Gruppe (GAULY, 1997a).

2.5.2.3.6 Saisonalität der Spermaqualität bei Neuweltkameliden

In ihren Heimatgebieten im Altiplano der Anden zeigen die Neuweltkameliden eine Saisonalität bezüglich ihrer Fortpflanzung. Die Zuchtsaison reicht hier von November bis April (SAN MARTIN et al., 1968; SUMAR, 1996), so dass die Geburten 11 Monate später in die warme futterreiche Zeit fallen (McEVOY et al., 1994). Die Ergebnisse von McEVOY et al. (1994) deuten darauf hin, dass die Saisonalität der Lamas in ihren Heimatgebieten auf das Futterangebot und das Zuchtmanagement zurückzuführen ist und nicht auf einen jahreszeitlichen Rhythmus. Auch sind in Mitteleuropa keine Veränderungen der Ovaraktivitäten und der männlichen Fruchtbarkeit feststellbar. Beobachtungen in Zoos auf der ganzen Welt bestätigen diese Meinung, denn sowohl die wilden als auch die domestizierten Neuweltkameliden sind hier das ganze Jahr über paarungsbereit (SCHMIDT, 1973; SMITH et al., 1994).

GAULY (1997a) stellte einen signifikanten Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur und Spermiedichte bei Untersuchungen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen und somit eine saisonale Schwankung fest. Hiernach waren die Spermiedichten bei Lamas in den Monaten November bis Februar am höchsten und im September am niedrigsten. Dies stand vermutlich in direktem Zusammenhang mit den Umgebungstemperaturen. Die erzielten Spermaqualitäten wurden allerdings zu jeder Jahreszeit als ausreichend für eine Befruchtung angesehen.

2.5.3 Einfluss von Hitze einwirkung auf die Reproduktion männlicher Tiere

2.5.3.1 Einfluss von Hitze auf die Spermaparameter

ZIEGER (1998) konnte bei Schafböcken nach einer Ganzkörperhitzebelastung einen deutlichen Anstieg des pH-Wertes des Spermas feststellen.

Die Anzahl lebender Spermien und die Spermiedichte nimmt bei Schafböcken 2-3 Wochen nach Hitzebelastung ab (BROOKS und ROSS, 1962; SMITH, 1971). ZIEGER (1998) konnte bei Schafböcken, die einer erhöhten Umgebungstemperatur ausgesetzt waren, ebenfalls einen Abfall der Dichte im Ejakulat zwei Wochen nach der Hitzebelastung feststellen. MOULE und WAITES (1963) hingegen konnten bei ihren Untersuchungen keine Veränderungen der Dichten der Ejakulate infolge einer Hitzebelastung beobachten.

Bei Schafböcken konnte nach 2 x 6 Stunden bei einer Umgebungstemperatur von 40°C innerhalb von 3 Tagen eine Abnahme der Vorwärtsbeweglichkeit festgestellt werden. Diese Veränderungen hielten für 30 bis 42 Tage an (MOULE und WAITES, 1963; SMITH, 1971). Auch HOWARTH (1969) konnte zeigen, dass die Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien schon 4 Tage nach einer Hitzebelastung bei Schafböcken abnimmt. Sie verringert sich kontinuierlich im Verlauf mehrerer Wochen, ehe sie sich wieder den Ausgangswerten annähert.

ZIEGER (1998) konnte in seinen Versuchen bei Schafböcken beobachten, dass eine Isolierung der Hoden bereits am 14. Tag zu einem vollständigen Absterben der Spermien führt.

Bei Bullen, die einer Hitzebelastung ausgesetzt waren, sank die Dichte und die Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien. Gleichzeitig kam es zu einem Anstieg von morphologisch abnormen und toten Spermien. Diese Veränderungen begannen ca. 1 Woche nach einer Hitzebelastung und hielten für 40 bis 60 Tage nach Ende der Hitzebelastung an (CASADY et al., 1953; SKINNER und LOUW, 1966).

Primäre Spermienveränderungen resultieren aus einer Störung der Spermatogenese und werden in spezifische und unspezifische Veränderungen unterteilt. Spezifische Veränderungen treten relativ selten auf und sind meist angeboren und generalisiert. Unspezifische primäre Spermiendefekte treten dagegen relativ häufig infolge von Noxen auf und sind nicht generalisiert. Primäre Veränderungen, also Veränderungen vor Abschluss der Spermatogenese, weisen dabei vorwiegend Spermien auf, die im Stadium der thermosensiblen Spermatiden geschädigt wurden (STOLLA, 1984). Sekundäre Missbildungen resultieren aus unphysiologischen Bedingungen, wie zum Beispiel thermischer Belastung während der Wanderung durch die Nebenhoden oder bei der Ejakulation (STOLLA, 1984). Missbildungen

des Kopfes, Formabweichungen des Mittelstückes und des Schwanzes zählen zu den primären Missbildungen. Als sekundäre Missbildungen werden abgelöste Köpfe, Spermien mit proximalem oder distalem Plasmotropfen, Krümmlinge sowie abgelöste Kopfkappen angesehen (BUSCH et al., 1991).

MOULE und WAITES (1963) konnten bei Schafböcken einen Anstieg von morphologisch abnormen Spermien im Ejakulat 13 bis 14 Tage nach der Hitzeeinwirkung (40°C für 2x6 h) feststellen. Diese zeitliche Verzögerung wird auf die relative Hitzeresistenz der epididymalen Spermien zurückgeführt, so dass, wenn man für die Nebenhodenpassage 9-14 Tage ansetzt, die testikulären Spermienanomalien zu diesem Zeitpunkt im Ejakulat auftreten (HOWARTH, 1969).

Die auftretenden Spermienanomalien werden in einer gewissen zeitlichen Folge im Ejakulat sichtbar. Pyriforme Kopfanomalien sind die ersten sichtbaren Veränderungen, gefolgt von eingerollten und dann schwanzlosen Spermien (MOULE und WAITES, 1963).

2.5.3.2 Einfluss von Hitze auf die Hoden

Eine Hodentemperatur von 4-5°C unter der Körpertemperatur ist essentiell für die Aufrechterhaltung der normalen Spermatogenese beim Bullen. Eine Erhöhung der Hodentemperatur resultiert in einer Steigerung des Stoffwechsels und des Sauerstoffverbrauchs des Hodengewebes. Da aber die testikuläre Blutversorgung limitiert ist und der erhöhte Bedarf nicht gedeckt werden kann, kommt es zur Hypoxie, zur Bildung von Sauerstoffradikalen und als Folge davon zu einer Verschlechterung der Spermaqualität.

Hitze hat im Hoden direkten Einfluss auf bestimmte Zelltypen und verursacht indirekte Effekte, die durch die zellulären Veränderungen hervorgerufen werden (SETCHELL, 1998).

Bei Schafböcken konnte, nachdem die Hoden für 45 Minuten einer Temperatur von 42°C ausgesetzt waren, nach 21 Tagen eine Gewichtsabnahme der Hoden um ca. 50% beobachtet werden (HOCHEREAU-DE REVIERS et al., 1993). GOMES et al. (1971) konnten bei Schafböcken, die über 14 Tage einer hohen Umgebungstemperatur ausgesetzt waren, eine Reduktion des Hodengewichtes um 70% der Kontrollwerte beobachten. Auch zeigten Schafböcke mit einem gekürztem Skrotum deutlich kleinere Hoden als Vergleichsböcke mit normalen Skrota (SANFORD et al., 1993).

2.5.3.2.1 Histologische Veränderungen des Hodens nach Hitzebelastung

SOD-MORIAH et al. (1974) konnten bei Ratten, die drei Monate einer Umgebungstemperatur von 35°C ausgesetzt wurden, in 20% der Tubulusquerschnitte eine massiv gestörte Spermatogenese beobachten, während sich die restlichen Tubuli normal darstellten.

Bei Ratten, deren Hoden einer Temperatur von 43°C über 15 min ausgesetzt waren, kann schon eine Stunde nach der Hitzebelastung eine Erhöhung der Anzahl an abnormen pachytänen Spermatozyten vor allem in Stadium IX bis XII, an diakinetischen und sich teilenden Spermatozyten in Stadium XIII und XIV und an jungen Spermatiden in Stadium I festgestellt werden, wobei es zu diesem Zeitpunkt keinen sichtbaren Effekt auf die Anzahl der Spermatogonien gibt (CHOWDHURY und STEINBERGER, 1964; 1970).

Schafböcke zeigten 12 Stunden nach einer Hitzeexposition der Hoden von 150 min bei 40°C eine größere Anzahl an degenerierenden pachytänen Spermatozyten (WAITES und ORVANT, 1968). Diese Sensitivität der pachytänen Spermatozyten konnte auch bei Mäusen nachgewiesen werden. Sie wurde über die Anzahl an Kernen von elongierten Spermatiden geschätzt, die in Homogenisaten gezählt wurden, die 14 Tage nach einer Hitzebelastung der Hoden bei 43°C über 30 min gewonnen wurden (GASINSKA und HILL, 1990).

Pachytäne Spermatozyten und Spermatiden sind auch die ersten Zellen, die bei einem experimentellen Kryptorchismus beeinflusst werden (DAVIS und FIRLIT, 1966; YIN et al., 1997). Bei Kaninchen konnten 24 h nach dem experimentellem Kryptorchismus schon degenerierende Zellen gefunden werden, zudem gab es Veränderungen bei den Spermatiden, die sich später noch verstärkten, obwohl der Hoden wieder in das Skrotum zurückverlagert worden war (PLÖEN, 1973).

ALLAN et al. (1987) zeigten in ihren Untersuchungen, dass eine lokale Erwärmung des Hodens zu einer gesteigerten Apoptose der Spermatogonien zu führen scheint. In anderen Untersuchungen schien die erhöhte Apoptoserate vor allem die Spermatozyten zu betreffen (SINHA HIKIM et al., 1995; 1997). LUE et al. (1999) zeigten, dass es nach einer lokalen Erwärmung der Hoden vor allem bei den primären Spermatozyten und den runden Spermatiden zu einer gesteigerten Apoptoserate kommt.

Auch wenn mittlerweile allgemein anerkannt ist, dass die pachytänen Spermatozyten und die Spermatiden die Zellen sind, die am schnellsten betroffen sind, werden auch Effekte auf andere Zelltypen zu sehen sein, wenn der Grad der Hitzebelastung erhöht wird, entweder durch eine erhöhte Temperatur oder durch eine verlängerte Hitzeeinwirkung (SETCHELL, 1998).

Bei Schafböcken konnte neben den Effekten auf die Spermatozyten auch eine Abnahme der der Anzahl an sich teilenden B-Spermatogonien festgestellt werden, die anschließend abstarben (WAITES und ORTAVANT, 1968). Zählungen der Spermatidenkerne (GASINSKA und HILL, 1990) oder die Prozentzahl an haploiden Zellen (DE VITA et al., 1990; SAILER et al., 1997) 28 Tage nach Hitzebelastung deuten darauf hin, dass sich differenzierende Spermatogonien zwar weniger hitzesensibel sind als pachytäne Spermatozyten, sie aber dennoch beeinträchtigt werden.

CATALDO et al. (1997) konnten zeigen, dass die Initiation der Translation in pachytänen Spermatozyten und Sertoli-Zellen bei abdominalen Temperatur (37°C) gehemmt wird und dass die elongierten Spermatiden wesentlich hitzetoleranter sind. SARGE (1995) vermutet, dass einige der vielen Proteine, die nur in meiotischen und haploiden Zellen der Spermatogenese synthetisiert werden, bei Körpertemperatur (37°C) denaturieren. Die Resistenz der elongierten Spermatiden lässt entweder vermuten, dass diese mutmaßlich thermolabilen Proteine nur in primären Spermatozyten und runden Spermatiden exprimiert werden, oder dass deren Denaturierung in elongierten Spermatiden nicht zu einer Hemmung der Initiation der Translation führt (CATALDO et al., 1997).

Die Spermatogenesedauer ist unter physiologischen Bedingungen für jede Tierart konstant (SETCHELL, 1998). Die Arbeit von MEISTRICH et al. (1973) zeigt, dass die Dauer der Spermatogenese bei kryptorchiden Mäusen und Tieren, die bei 32°C gehalten werden, leicht verkürzt ist.

2.5.3.2.2 Veränderungen der Genexpression und die Rolle von Hitzeschockproteinen (HSP) im Hoden nach Hitzebelastung

Obwohl die physiologischen und zellulären Antworten auf eine Hitzebelastung des Hodens in der Literatur gut beschrieben sind, ist über die Genexpression infolge einer erhöhten skrotalen Temperatur relativ wenig bekannt. Die molekularen Mechanismen, durch die die Genexpression verändert werden, sind größtenteils unbekannt. ROCKETT et al. (2001) untersuchten mit Hilfe von Microarrays die Genexpression von 2208 Genen im Hoden nach einer Hitzebelastung (43°C für 20 min). Bei 27 dieser Gene konnte eine erhöhte Expression und bei 151 Genen eine verringerte Expression festgestellt werden. Diese Ergebnisse sind so zu erklären, dass ein akuter Umweltstress die zelluläre Aktivität reduziert bzw. stoppt, mit Ausnahme einiger protektiver und regulatorischer Gene, die benötigt werden, einen Verteidigungs- oder Reparaturprozess auszulösen. Dafür spricht, dass eine verringerte

Expression vor allem für DNA-Reparatur- und Rekombinationsgene, Gene der Proteinsynthese, der Protein-Faltung, des Zellzyklus und der Apoptose festzustellen ist, während die Expression der Gene einiger HSP, non-HSP Stress-Response-Gene, Zelladhäsionsgene und einiger anderer Gene verstärkt wird (ROCKETT et al., 2001).

Eine der bekanntesten Reaktionen von eukaryotischen Zellen auf Umweltstress durch z.B. erhöhte Temperatur, Medikamente- oder Chemikalienexposition sind die so genannten Hitzeschockproteine (HSP) (ROCKETT et al., 2001).

Viele HSP sind auch in normalem Gewebe (ohne Hitzebelastung) vorhanden und scheinen in grundsätzliche zelluläre Funktionen involviert zu sein (BIGGIOGERA et al., 1996). Vor allem der Hoden enthält viele dieser Proteine, wobei die meisten mit der physiologischen Spermatogenese in Zusammenhang gebracht werden und nicht durch Hitze induziert werden können (DIX, 1997). Es gibt jedoch auch Untersuchungen, die eine vermehrte Bildung von HSP nach einer Hitzebelastung im Hoden beschreiben (ROCKETT et al., 2001).

Die hitzeinduzierte Expression von HSP wird durch den Heat Shock Transcription Factor 1 (HSF1) vermittelt, wobei in Hodengewebe HSF1 schon bei niedrigeren Temperaturen (35°C) aktiviert wird als in anderen Geweben, wie z.B. der Leber (ab 42°C) (SARGE, 1995). Es wird vermutet, dass HSP durch fehlerhaft gefaltete Proteine stimuliert werden, um weitere Faltungen der Proteine zu verhindern, solange die Stressfaktoren vorhanden sind (ROCKETT et al., 2001).

In den Untersuchungen von ROCKETT et al. (2001) wurde nach einer Hitzeexposition im Hoden vermehrt HSP70-1/-3 in primären Spermatozyten gefunden, wobei die Expression eng mit TUNEL-positiven Zellen assoziiert war. Die Autoren folgern hieraus, dass der Expression von HSP70 eine bedeutende Rolle bei apoptotischen Vorgängen zukommt. Es liegen Untersuchungen vor, in denen HSP70 die hitzeinduzierte Apoptose von humanen Zelllinien verhindern (MOSSER et al., 1997). ROCKETT et al. (2001) konnten außerdem eine vermehrte Expression von HSP40 feststellen und vermuten, dass dieses Hitzeschockprotein eine zu HSP70 zusätzliche protektive Funktion hat.

Auch die Hitzeschockproteine HSP90 und HSP27 werden nach einer Hitzebelastung der Hoden (42°C, 1 h) vermehrt gefunden. Diese beiden HSP sind vor allem an Kernzellstrukturen zu finden, die aktiv an der RNA-Synthese beteiligt sind. Die Autoren vermuten, dass diese HSP protektive Funktionen bei der RNA-Synthese übernehmen (BIGGIOGERA et al., 1996)

HSP72 wird ebenfalls vermehrt nach einer Hitzebelastung des Hodens gefunden (SARGE, 1995) und kann bei Schafböcken auch im Seminalplasma nachgewiesen werden (ZIEGER,

1998). ZIEGER (1998) vermutet, dass hohe HSP72-Gehalte mitverantwortlich für eine schnelle Regeneration der Spermaparameter nach einer Hitzebelastung sein könnten.

2.5.3.3 Einfluss der Schur auf die Hitzebelastung männlicher Tiere

FOOTE et al. (1957) setzten fünf geschorene und fünf ungeschorene Schafböcke hintereinander drei verschiedenen Umgebungstemperaturen (21,1°C; 27,8°C und 35°C) für jeweils 48 Stunden aus. Am Ende jeder Hitzeperiode wurden die Rektaltemperatur und die intratestikuläre Temperatur gemessen. Die Rektaltemperatur gemittelt über den gesamten Versuchszeitraum lag bei den geschorenen Böcken bei 39,4°C und bei den ungeschorenen Böcken bei 39,8°C ($p=0,08$). Die Luftfeuchtigkeit, die Umgebungstemperatur und die Schur besaßen jeweils einen hochsignifikanten Einfluss auf die intratestikuläre Temperatur. Die intratestikuläre Temperatur, gemittelt über den gesamten Versuchszeitraum, lag bei den geschorenen Böcken bei 35,4°C und bei den ungeschorenen Böcken bei 36,3°C. Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur von 21,1°C auf 35°C verursachte bei allen Tieren eine größere Änderung der intratestikulären als der rektalen Temperatur 1,99°C bzw. 1,3°C ($p<0,01$). Auch DUTT und HAMM (1957) setzten geschorene und ungeschorene Böcke für eine Woche einer Umgebungstemperatur von 32,2°C aus. Es wurden physiologische Parameter und die Spermaqualität erfasst. In der Hitzeperiode erhöhten sich die Rektaltemperaturen in beiden Gruppen signifikant, wobei die der ungeschorenen Böcke höher lag (39,1°C geschoren, 40,5°C ungeschoren). Die Anzahl motiler Spermien sank nur leicht in der ersten Woche nach der Hitzebehandlung. Danach sank die Motilität stark bei den ungeschorenen Böcken bis fünf Wochen nach Hitzebehandlung ab, um dann wieder anzusteigen. In der achten Woche nach der Hitzebehandlung wurden die Ausgangswerte wieder erreicht. Die Motilität der Spermien geschorener Böcke zeigte zu keinem Zeitpunkt signifikante Abweichungen von den Werten der Kontrollgruppe, die keiner Hitzebelastung ausgesetzt wurden. Die Dichte der Ejakulate verhielt sich analog. Es trat nur ein Absinken der Dichten bei ungeschorenen Böcken bis zur fünften Woche nach Hitzebelastung ein, danach kam es wieder zu einem Anstieg, bis in der achten Woche die Ausgangswerte wieder erreicht waren. Bei den geschorenen Böcken ließ sich keine Änderung der Dichte nachweisen. In beiden Versuchsgruppen konnte ein Anstieg der morphologisch abnormen Spermien im Ejakulat nachgewiesen werden, wobei dieser Anstieg bei den ungeschorenen Böcken wesentlich höher ausfiel als bei den geschorenen Tieren. Der Höchstwert an morphologisch abnormen Spermien lag in der fünften Woche nach der Hitzebelastung.

2.6 Endokrinologie

2.6.1 Androgene

Die Androgene werden in den Leydigschen Zwischenzellen des Hodens, in den Theca-interna-Zellen der Ovarfollikel, in der Nebennierenrinde und in der Plazenta gebildet. Die wichtigsten Androgene sind Dihydrotestosteron, Testosteron, Androstendion und Dehydroepiandrosteron (gereiht nach abnehmender biologischer Wirksamkeit). In den Mitochondrien der Leydigschen Zwischenzellen wird Cholesterol zu Pregnenolon umgewandelt. Pregnenolon und Progesteron werden durch enzymatische Umbauvorgänge zu Dehydroepiandrostenon und Androstendion. Hieraus entstehen dann 5-Androstendiol und Testosteron. In den Zielgeweben wird Testosteron zu 5 α -Dihydrotestosteron reduziert. Dieses Steroid hat teilweise eine stärkere androgene Wirkung als Testosteron. Der Transport der Steroide im Blut erfolgt größtenteils an Proteine gebunden. Der Abbau der Sexualsteroiden durch Enzyme erfolgt vor allem in der Leber, aber auch in anderen Geweben (DÖCKE, 1994).

Testosteron ist für den kontinuierlichen Ablauf der Spermatogenese essentiell. Dabei erfolgt die Beeinflussung der Spermatogenese durch Testosteron indirekt über die Sertolizellen. Die Reifung der Spermien im Nebenhoden steht unter dem Einfluss von Dihydrotestosteron, das in den Sertolizellen aus Testosteron metabolisiert und in die Hodentubuli sezerniert wird. In der Pubertät stimulieren Androgene die vollständige Ausbildung der männlichen Geschlechtsmerkmale, deren Funktion und Morphologie beim adulten Tier nur unter ausreichendem Androgeneinfluss gewährleistet ist. Durch Effekte im ZNS stimulieren Androgene die Ausbildung männlicher Verhaltensmuster. Für die Ausbildung des Fortpflanzungstriebes (*Libido sexualis*) beim männlichen Tier ist eine ausreichende Testosteronproduktion notwendig. Es besteht jedoch kein direkter Zusammenhang zwischen der Ausprägung der *Libido sexualis* und der Höhe der endogenen Androgenproduktion bei einem Individuum (MÖSTL, 2000).

Androgene haben einen anabolen Einfluss auf den Proteinstoffwechsel. Sie beeinflussen außerdem den Fettstoffwechsel, den Elektrolyt- und Wasserhaushalt, bei dem es unter Androgeneinfluss zu einer Retention von Na, K, Cl, Ca, PO₄ und Wasser kommt. Weiterhin haben sie einen stimulierenden Effekt auf die Erythropoese (DÖCKE, 1994).

Bei Neuweltkameliden werden von der Geburt bis zu einem Alter von 19 bis 20 Monaten sehr niedrige Testosteronwerte (60-90 pg/ml) im Blut gemessen. Ab dem 20. Lebensmonat steigen

die Testosteronwerte sprunghaft an, bis diese nach ca. 2 Jahren die Werte von adulten Tieren erreichen. Dieser Anstieg des Testosterons geht mit einer gesteigerten *Libido sexualis* der Hengste einher (BRAVO, 2002). Es scheint Unterschiede in den Testosteronwerten zwischen Alpakas und Lamas mit saisonalen Schwankungen zu geben (Tab. 4) (BRAVO, 2002).

Tab. 4: Testosteronwerte in pg/ml (Mittelwert \pm Standardfehler) von Lamas, Alpakas und Vikunjas zu verschiedenen Jahreszeiten auf der Südhalbkugel (BRAVO, 2002)

Jahreszeit	Alpakas	Lamas	Vikunjas
Sommer (März)	1142,5 \pm 108,3	208,0 \pm 52,7	2032
Herbst (Juni)	992,5 \pm 388,0	37,8 \pm 14,9	
Winter (September)	877,5 \pm 91,3	291,5 \pm 74,8	1354
Frühling (Dezember)	2445,0 \pm 694,8	362,3 \pm 73,7	

In den USA wurden bei Lamahengsten, die das ganze Jahr mit Stuten gehalten wurden, Fluktuationen der Testosteronwerte im Jahresverlauf zwischen 900 und 1200 pg/ml festgestellt (FOWLER, 1998).

GAULY (1997a) fand bei Lamahengsten unter mitteleuropäischen Klimabedingungen einen mittleren peripheren Testosterongehalt von 5,4 ng/ml, wobei sich die Werte in sehr weiten Bereichen bewegten (0,2 bis 37 ng/ml). Die Tiere mit den durchschnittlich höchsten Testosteronwerten waren die ranghöchsten Tiere in der Gruppe. Das ranghöchste Tier hatte einen um fast 50% höheren durchschnittlichen Testosterongehalt gegenüber dem rangniedrigsten Lamahengst. Es fanden sich keine signifikanten Korrelationen des Testosterongehaltes im Blut zur Spermiendichte, dem Sperma-pH und der Konsistenz. Die positiven Korrelationen zur Spermamenge und der Absamdauer sprechen nach GAULY (1997a) für eine Anregung der akzessorischen Geschlechtsdrüsen durch den Bluttestosteronspiegel.

MALAK und THIBIER (1985) kamen zu dem Schluss, dass mit Beginn der Spermiogenese die Samenproduktion unabhängig von der Testosteronsekretion verläuft. Bestätigt wurde diese Feststellung durch die Untersuchungen von SCHALLENBERGER et al. (1991), die bei Jungbullen mit deutlichen Unterschieden hinsichtlich der *Libido sexualis* und der Spermaqualität kaum veränderte Hormonverläufe feststellten. Es konnte bei diesen Tieren kein Zusammenhang zwischen Androgenspiegel und Libido und/oder Spermaqualität gefunden werden.

2.6.1.1 Einfluss von Hitze auf die Testosteronwerte

Betrachtet man die Testosteronwerte bei Lamahengsten im Jahresverlauf unter mitteleuropäischen Klimabedingungen, so ist die Konzentration an Testosteron im Monat Dezember (2,9 ng/ml) am niedrigsten. Der höchste Wert wurde im Juli (9,4 ng/ml) ermittelt (GAULY, 1997a). Bei diesen Untersuchungen wurde eine positive Korrelation ($p < 0,01$) zwischen Androgenwerten und maximaler Außentemperatur nachgewiesen.

Bei Ebern konnte bei einer Hitzebelastung von 35°C über 100 Stunden ein Abfall der Testosteronwerte in der Hitzeperiode beobachtet werden. Nach der Hitzebelastung zeigten die Eber einen starken Anstieg der Testosteronwerte, die sich dann langsam den Ausgangswerten wieder annährte (LARSON et al., 1983).

GOMES et al. (1971) stellten beim Schafbock fest, dass es nach einer 14tägigen Hitzebelastung auch zu einem Abfall der Testosteronproduktion kommt.

2.6.2 Schilddrüsenhormone

Die Biosynthese der Hormone Thyroxin (T_4) und Trijodthyronin (T_3) erfolgt in der Schilddrüse. Die Schilddrüse gibt vor allem T_4 , aber auch geringe Mengen T_3 an die umgebenden Kapillaren ab. Dort sind die Schilddrüsenhormone überwiegend an Trägerproteine gebunden (MÖSTL, 2000; ŚLEBODZIŃSKI, 1994). Nur die ungebundenen Hormone können in Zellen eindringen und zur Wirkung gelangen. Periphere Zellen wandeln T_4 durch Deiodinasen je nach Erfordernissen des Stoffwechsels zu T_3 , einem biologisch hochwirksamen Hormon, oder zu reversem T_3 , einer biologisch unwirksamen Verbindung, um.

Die Funktionen der Schilddrüsenhormone sind, in physiologischen Dosen, die Steigerung des Grundumsatzes, die Anregung der Proteinbiosynthese, die Stimulation der Kohlenhydratresorption im Darm, die Stimulation der Glykogenolyse in Muskel und Leber, die Mobilisation von Depotfett, die Stimulation der Diurese und die Erhöhung der Herz- und Atemfrequenz (MÖSTL, 2000; ŚLEBODZIŃSKI, 1994).

Der Hypothalamus bildet TRH, das auf die Hypophyse einwirkt und diese zur vermehrten Abgabe von TSH veranlasst. Dieses Hormon wirkt auf die Schilddrüse und fördert die Sekretion der Schilddrüsenhormone. Die Steuerung des Schilddrüsenhormongehaltes erfolgt durch einen negativen Feedback-Mechanismus. Erhöhte Mengen von nicht an Trägerprotein gebundenen Schilddrüsenhormonen wirken auf die Hypophyse hemmend. Umweltfaktoren,

wie z.B. Kälte, wirken über das Zentralnervensystem auf die neurosekretorischen Zellbezirke des Hypothalamus und veranlassen diesen vermehrt TRH zu bilden (MÖSTL, 2000).

Bei männlichen Lamas (> 1 Jahr) liegen die Serumwerte von T_3 bei 1,36 ng/ml (0,45-4,14) und von T_4 bei 124 ng/ml (70-220) (SMITH et al., 1989). Bei EL-NOUTY et al. (1978) lagen bei einer Umgebungstemperatur von 27°C bei männlichen Lamas die Plasmalevel von T_3 bei $1,95 \pm 0,42$ µg/l und von T_4 bei $106,0 \pm 16,6$ µg/l. In der Arbeit von GAULY (1997a) lagen die durchschnittlich bei Lamas gemessenen T_3 -Werte bei 1,5 ng/ml. Die T_4 -Konzentrationen zeigten eine weite Streubreite (35,4-105,0 ng/ml) und lagen mit einem Durchschnitt von 64,8 ng/ml im Mittel um 50% unter den von SMITH et al. (1989) angegebenen Werten.

2.6.2.1 Einfluss von Hitze auf Schilddrüsenhormonwerte

Kälte stimuliert generell die sekretorische Aktivität der Schilddrüse, während Hitze eine Einschränkung der Schilddrüsenfunktion verursacht. Diese Vorgänge lassen eine Stoffwechselanpassung erkennen, d.h. eine vermehrte Bildung von T_4 zur Bewältigung der metabolischen Anforderungen bei Kälte und eine geringere T_4 -Bildung bei Hitze (ŚLEBODZIŃSKI, 1994).

EL-NOUTY et al. (1978) setzten Lamas unterschiedlichen Umgebungstemperaturen aus und untersuchten die Veränderungen der T_3 und T_4 -Werte (Tab. 5). Der Abfall der Stoffwechselaktivität bei einer Hitzebelastung von 3-4 Tagen scheint mit einer eingeschränkten Schilddrüsenfunktion verbunden zu sein.

GAULY (1997a) untersuchte T_3 - und T_4 -Werte bei Lamahengsten im Jahresverlauf unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen. Die Konzentrationen an T_4 und T_3 waren in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten. Die Verläufe der Konzentrationen waren den Veränderungen der Außentemperatur entgegengesetzt (Tab. 5), was sich in einer negativen Korrelation zur durchschnittlichen, zur maximalen und zur minimalen Außentemperatur zeigte. Die Konzentrationen an T_4 und T_3 sanken mit steigender Umgebungstemperatur linear ab, was sich mit den Untersuchungen von EL-NOUTY et al. (1978) deckt, wobei hier die absoluten T_4 und T_3 -Werte insgesamt deutlich höher lagen (Tab. 5).

Tab. 5: Vergleich der Schilddrüsenhormonwerte (T₃ und T₄) von Lamas

	GAULY (1997a)		EL-NOUTY et al. (1978)		SMITH et al. (1989)	
Temperatur °C	T ₄ (ng/ml)	T ₃ (ng/ml)	T ₄ (ng/ml)	T ₃ (ng/ml)	T ₄ (ng/ml)	T ₃ (ng/ml)
8	69,4	1,61	108,4	2,95		
16	61,9	1,50	109,5	1,98		
27	51,5	1,36	106,0	1,95	106,0	1,95
30	48,7	1,32	110,5	1,88		
35			106,9	1,55		
40	39,3	1,20	103,1	1,22	82,5	1.06
44			102,5	0,81		

3 Material und Methoden

3.1 Tiere

Die Untersuchungen wurden an 15 fertilen Lamahengsten durchgeführt, die älter als 2,5 Jahre alt waren. Die Tiere stammten aus verschiedenen deutschen Privatzuchten, von der Lehr- und Forschungsstation Oberer Hardthof der Justus-Liebig-Universität Giessen und von dem Versuchsgut Relliehausen der Georg-August-Universität Göttingen.

Es wurden drei Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1 (n=6):

2 vollgeschoren (Lama 1, 2)

2 teilgeschoren (Lama 3, 4)

2 ungeschoren (Lama 5, 6)

Gruppe 2 (n=6):

3 vollgeschoren (Lama 7, 8, 9)

3 ungeschoren (Lama 10, 11, 12)

Gruppe 3 (n=3) (Kontrolle für Gruppe 2):

3 kastriert vor Versuchsbeginn (K1, K2, K3)

3.2 Haltung und Fütterung

Die Tiere wurden zuerst auf der Lehr- und Forschungsstation Oberer Hardthof des Institutes für Tierzucht und Haustiergenetik der Justus-Liebig-Universität Giessen auf einer Weide mit Unterstand gehalten. Die Tiere bekamen Heu ad libitum und Kraftfutter (ca. 250 g/Tier/Tag, 18/3 Alleinfutter für Mastlämmer, Raiffeisen Agrar) zugefüttert. Alle Tiere wurden vor dem Transport nach Göttingen entwurmt und serologisch auf Brucellose, CAEV und Paratuberkulose untersucht.

Zuerst wurde Gruppe 1 für 21 Wochen in den temperierbaren Stallungen des Institutes für Tierzucht und Haustiergenetik der Georg-August-Universität Göttingen aufgestellt und definierten Umgebungstemperaturen ausgesetzt (siehe Tab. 6). Heu und Wasser wurden ad libitum angeboten, Kraftfutter (ca. 250 g/Tier/Tag, Hemo 17/2 SM, Milchleistungsfuttermittel II, HEMO Mohr GmbH & Co KG, Scheden) wurde zugefüttert (bis Woche 16 des Versuches). Die Tiere wurden in Zweiergruppen mit gleichem Schurtyp aufgestellt.

Im Anschluss wurde Gruppe 2 für mindestens 10 Wochen in dieselben Ställe in Göttingen gebracht und ebenfalls definierten Umgebungstemperaturen ausgesetzt (Tab. 6). Heu und

Wasser wurden ad libitum angeboten. Auch diese Tiere wurden in Zweiergruppen gehalten, wobei in Stall 1 zwei geschorene, in Stall 2 ein geschorenes und ein ungeschorenes Tier und in Stall 3 zwei ungeschorene Lamas gehalten wurden.

Gruppe 3 wurde auf der Lehr- und Forschungsstation des Institutes für Tierzucht und Haustiergenetik der Justus-Liebig-Universität Giessen kastriert und verblieb dort.

3.2.1 Aufbau der temperierbaren Stallungen

Es standen drei gleichartige Ställe in Göttingen zur Verfügung. Die Größe der Ställe betrug jeweils 5,88x3,2 m. Jeder Stall besaß zwei Türen und zwei verschlossene Fenster (90x90 cm), so dass den Tieren Tageslicht zur Verfügung stand. Der Boden des Stalles war wärmeisoliert und mit Stroh eingestreut (Abb. 7).

In jedem Stall waren eine Heuraupe und eine Tränke vorhanden.

Pro Stall waren 2 HF-Neonröhren installiert, die einen künstlichen Tag von 14 Stunden simulierten. Der Wechsel zwischen Hell- und Dunkelphase erfolgte mit einer halbstündigen Dämmerphase, in der das Licht langsam stärker bzw. schwächer wurde. Die Ställe konnten über die Lüftung beheizt werden. Es gab jedoch keine Möglichkeit zur Kühlung der Luft.

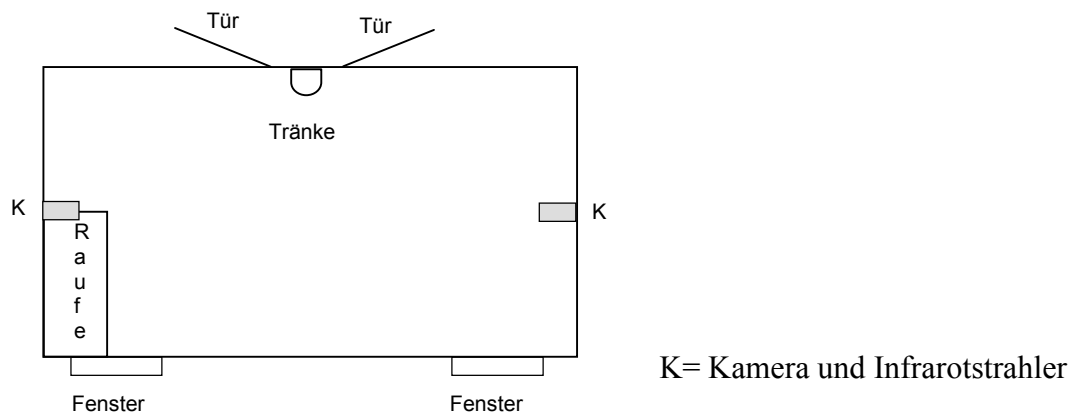


Abb. 7: Stallgrundriss

3.3 Versuchsplan

Tab. 6: Tabellarische Darstellung des Versuchsplans

Datum	Versuchs- woche	Versuchs- gruppe	Versuchsplan	Versuchs- phasen
01.03.02-22.07.02		Gruppe 1	Training der Tiere auf das Phantom	Phase 1
22.07.02			Transport der Tiere nach Göttingen	
23.07.02-28.07.02	1		Adaptationsphase	Phase 2a
29.07.02-25.08.02	2-5		Hitzephase $29,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$	Phase 3
26.08.02-01.09.02	6		Adaptationsphase	Phase 2b
02.09.02-26.11.02	7-19		Erholungsphase $19,9 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$	Phase 4
27.11.02-12.12.02	20-21		Adaptationsphase an Außentemperatur	
13.12.02	21		Transport der Gruppe 1 nach Giessen	
14.12.02-13.01.03			Stall leer (Reinigung)	
14.01.03	22	Gruppe 2	Transport der Gruppe 2 nach Göttingen	
15.01.03-26.01.02	22-23		Adaptationsphase	Phase 5a
27.01.03-23.02.03	24-27		Hitzephase $29,1 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$	Phase 6
24.02.03-02.03.03	28		Adaptationsphase	Phase 5b
03.03.03- 31.03.03	29-32		Erholungsphase $20,8 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$	Phase 7
31.03.03			Lama 7, 8, 11, 12 nach Giessen	
31.03.03-14.04.03	33-35		Haltung der Lamas 9 und 10 bei Stalltemperatur in Göttingen	
14.04.03	35		Lama 9, 10 nach Giessen	
		Gruppe 3	Kastration von Lama K1, K2, K3	

3.3.1 Versuchsphasen

3.3.1.1 Versuchsphasen für Gruppe 1 nach Tabelle 6 und Tabelle 7

Phase 1 (Training)

Vier der Hengste (2 geschoren, 2 ungeschoren) wurden auf die Annahme einer modifizierten künstlichen Vagina für Schafe trainiert.

Folgende Maßnahmen wurden tierindividuell durchgeführt:

- wöchentlich: Samengewinnung zur Ermittlung der Standardsamenparameter
- Blutentnahme zur Hormonbestimmung
- Am Ende von Phase 1: - Haarlängenmessung

Phase 2a und 2b (Adaptationsphase)

Die 6 Hengste wurden zu je zwei Tieren in die temperierbaren Stallungen in Göttingen eingestellt. Die Temperatur wurde im Verlauf einer Woche auf die in der Hitzeperiode angegebene Stalltemperatur (Tab. 6) angehoben (Phase 2a) bzw. auf die in der Erholungsphase angegebene Stalltemperatur (Tab. 6) abgesenkt (Phase 2b).

Folgende Maßnahmen wurden tierindividuell durchgeführt:

- kontinuierlich: Messung der Klimadaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- Samstag: Verhaltensbeobachtungen mittels Videoüberwachung (24 h)
- täglich: Ermittlung von Atemfrequenz, Pulsfrequenz, rektaler Temperatur
- wöchentlich: Samengewinnung zur Ermittlung der Standardsamenparameter (bei vier der Hengste)
- wöchentlich: Blutentnahme zur Hormonbestimmung
- wöchentlich: Oberflächentemperaturmessung des Körpers einschließlich des Anogenitalbereichs mittels Infrarotthermographie
- am Ende von Phase 2a: - Erfassung des Körpergewichtes

Phase 3 (Hitzeperiode)

Die Hengste wurden in den Stallungen über die Dauer von 4 Wochen einer konstanten Temperaturbelastung von durchschnittlich $29,1 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ausgesetzt. Die nicht zu beeinflussende Luftfeuchtigkeit betrug in dieser Zeit durchschnittlich $44,6 \pm 4,8\%$.

Folgende Maßnahmen wurden tierindividuell durchgeführt:

- täglich: Ermittlung von Atemfrequenz, Pulsfrequenz, rektaler Temperatur
- kontinuierlich: Messung der Klimadaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)

- Samstag: Verhaltensbeobachtung mittels Videoüberwachung (24 h)
- wöchentlich: Samengewinnung zur Ermittlung der Standardsamenparameter (bei vier der Hengste)
- wöchentlich: Blutentnahme zur Hormonbestimmung
- wöchentlich: Oberflächentemperaturmessung des Körpers einschließlich des Anogenitalbereichs mittels Infrarotthermographie
- wöchentlich: Größenmessung der Hoden mit Skrotum
- am Ende von Phase 3: - Erfassung des Körpergewichtes

Phase 4 (Erholungsphase)

Die Hengste verblieben für weitere 13 Wochen in den Stallungen, wobei die Temperatur bei $19,9 \pm 1,0^\circ\text{C}$ konstant gehalten wurde und die Luftfeuchtigkeit bei $49,0 \pm 10,4\%$ lag.

Folgende Maßnahmen wurden tierindividuell durchgeführt:

- Montag, Freitag: Ermittlung von Atemfrequenz, Pulsfrequenz, rektaler Temperatur
- kontinuierlich: Messung der Klimadaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- Samstag: Verhaltensbeobachtungen mittels Videoüberwachung (24 h)
- wöchentlich: Samengewinnung zur Ermittlung der Standardsamenparameter (bei vier der Hengste)
- wöchentlich: Blutentnahme zur Hormonbestimmung
- wöchentlich: Oberflächentemperaturmessung des Körpers einschließlich des Anogenitalbereichs mittels Infrarotthermographie
- alle 2 Wochen: Größenmessung der Hoden mit Skrotum
- am Ende von Phase 4: - Erfassung des Körpergewichtes
- Haarlängenmessung

3.3.1.2 Versuchsphasen für Gruppe 2 nach Tabelle 6 und Tabelle 7

Die Hengste in Versuchsgruppe 2 wurden während des Versuchs nicht abgesamt. Die Gruppe bestand zur Hälfte aus voll bewollten (Lama 10, 11, 12) und zur Hälfte aus komplett geschorenen Tieren (Lama 7, 8, 9).

Es wurden Kastrationen zu verschiedenen Zeitpunkten (siehe Tab. 9) vorgenommen.

Phase 5a und 5b (Adaptationsphase)

Die Adaptionsphase entsprach der Phase 2a und b von Gruppe 1 ohne die Messung der Spermaparameter.

Phase 6 (Hitzephase)

Die Hitzephase entsprach Phase 3 von Gruppe 1 ohne Messung der Spermaparameter mit einer Temperatur von $29,1 \pm 0,7^\circ\text{C}$ und einer Luftfeuchtigkeit von $13,8 \pm 4,1\%$.

Am Ende von Phase 6:

- Erfassung des Körpergewichtes
- Kastrationen (siehe Tab. 9)

Phase 7 (Erholungsphase)

Die Hengste verblieben für mindestens weitere vier Wochen in den Stallungen, wobei die Temperatur bei $20,8 \pm 0,6^\circ\text{C}$ konstant gehalten wurde und die Luftfeuchtigkeit bei $30,0 \pm 7,4\%$ lag. Vier der Hengste wurden nach diesen sechs Wochen nach Giessen verbracht, zwei der Hengste verblieben für weitere zwei Wochen in Göttingen.

Folgende Maßnahmen wurden tierindividuell durchgeführt:

- Montag, Freitag: Ermittlung von Atemfrequenz, Pulsfrequenz, rektaler Temperatur
- kontinuierlich: Messung der Klimadaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- Samstag: Verhaltensbeobachtung mittels Videoüberwachung (24 h)
- wöchentlich: Blutentnahme zur Hormonbestimmung
- wöchentlich: Oberflächentemperaturmessung des Körpers einschließlich des Anogenitalbereichs mittels Infrarotthermographie
- alle 2 Wochen: Größenmessung der Hoden im Skrotum
- Kastrationen nach 2, 4 und 6 Wochen nach Beendigung der Hitzephase (siehe Tab. 9)
- am Ende von Phase 4:
 - Erfassung des Körpergewichtes
 - Haarlängenmessung

3.3.1.3 Versuchsphasen für Gruppe 3

Die 3 Lamahengste aus Gruppe 3 wurden ohne Hitzebelastung als „Kontrollwert“ kastriert.

3.3.1.4 Zusammenfassung der erfassten Parameter in den drei Versuchsgruppen

In Tabelle 7 sind die erfassten Parameter bzw. durchgeführten Maßnahmen in den drei Versuchsgruppen und das Zeitintervall ihrer Erfassung bzw. Durchführung dargestellt. Diese Tabelle stellt eine Zusammenfassung der in dem Kapitel 3.3 aufgeführten Versuchsgruppen, Versuchsphasen, erfassten Parameter und durchgeführten Maßnahmen dar.

Tab. 7: Tabellarische Übersicht der erfassten Parameter bzw. der durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsphasen

	Zeit- intervall		Gruppe 1				Gruppe 2				Gruppe 3 (Kontrolle)
Phase ¹⁾			A ₁	H	A ₂	E	A ₁	H	A ₂	E	
Phase Nr. (Tab. 6)		1	2a	3	2b	4	5a	6	5b	7	
Parameter/ Maßnahmen											
Klimadaten	10 min Intervall		x	x	x	x	x	x	x	x	
PAT ²⁾	tägl.		x	x	x		x	x	x		
	2x/Wo					x				x	
Spermaparameter	1x/Wo	x	x	x	x	x	-	-	-	-	
Hormonbestimmung	1x/Wo		x	x	x		x	x	x	x	
	1x/Phase	x									
Thermographie- aufnahmen	1x/Wo		x	x	x	x	x	x	x	x	
Videoaufzeichnung	1x/Wo		x	x	x	x	x	x	x	x	
Größenmessung der Hoden	1x/Wo			x				x			
	1x/2 Wo					x				x	
Haarlängenmessung	1x/Phase		x			x	x			x	
Körpergewicht	1x/Phase		x	x		x	x	x	x	x	
Kastrationen			-	-	-	-		x	x	x	x

¹⁾A₁=Adaptationsphase 1, H=Hitzephase, A₂=Adaptationsphase 2, E=Erholungsphase

²⁾PAT=Puls, Atmung, Rektaltemperatur

3.4 Physiologische Parameter und Kontrolle der Tiere

Die Lamas wurden während der Hitzephasen mindestens einmal täglich auf klinische Anzeichen von Hitzestress untersucht. Nach der Definition von PUGH et al. (1997) wurden folgende Parameter als klinische Anzeichen von Hitzestress gewertet: reduziertes Allgemeinbefinden, „Keuchen“, Anorexie, rektale Temperatur $>40^{\circ}\text{C}$, Herzfrequenz $>90/\text{min}$, Gesichtslähmung.

Die Atemfrequenz wurde optisch durch das Heben und Senken des Brustkorbes erfasst und die Atemzüge je Minute gemessen, die Herzfrequenz wurde mittels eines Stethoskops über eine Minute erfasst und die rektale Temperatur wurde mit einem digitalen Fieberthermometer (Geratherm, Heiland, Hamburg) gemessen.

3.4.1 Wasserverbrauch pro Stall

Der Wasserverbrauch pro Stall (d.h. 2 Tiere) wurde täglich durch eine der Tränke vorgeschaltete, geeichte Wasseruhr erfasst. Bei der Tränke handelte es sich um eine Schwimmertränke.

3.5 Stallklima

Die Erfassung der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit erfolgte pro Stall kontinuierlich (im 10 min-Rhythmus) mittels Datenloggern (Spectra, Tinyview Plus, Echterdingen). Diese waren in ca. 1,5 m Höhe angebracht. Nach Beendigung der jeweiligen Versuche wurden die Daten mit Hilfe der mitgelieferten Software ausgelesen und als Excel-Tabelle abgespeichert.

3.6 Verhaltensbeobachtungen

Die Verhaltensbeobachtungen wurden jeweils 10 Wochen je Gruppe durchgeführt, wobei pro Woche an einem Tag observiert wurde.

Je Stall waren zwei Videokameras (Sanyo, B/W CCD Camera, Typ VC-2512, Ahrensburg) mit Standardobjektiv ($f=12\text{ mm}$, mit automatischer Iris) installiert. Für die Nachtaufnahmen waren zusätzlich je Stall zwei Infrarotstrahler (Videor[®] Technical, Infrared-LED-spotlight 15 W, Rödermark) mit einer Infrarotwellenlänge von 950 nm angebracht. Die Videoaufzeichnung erfolgte mit Hilfe eines Multiplexers (Sprite, Multiplexer TLS 2000, USA, Virginia), so dass auf einem Videoband alle sechs gleichzeitig laufenden Kameras aufgezeichnet wurden. Die Aufzeichnung auf Band erfolgte in Zeitraffer mit einem

Videorekorder (Sanyo, Time Lapse Video Cassette Recorder TLS-900P, Ahrensburg), so dass mit einer handelsüblichen VHS-Kassette 24 Stunden aufgezeichnet werden konnten.

Für die Auswertung der Videobänder wurden derselbe Multiplexer und Videorekorder verwendet. Die Auswertung erfolgte tierindividuell. Es wurden die Grundaktivitäten „Gehen“, „Stehen“ und „Liegen“ aufgenommen (Tab. 8). Die Grundaktivitäten wurden mit Hilfe der 10 min-Time-Sampling Methode erfasst (MARTIN und BATESON, 1993). Eine Observationsperiode dauerte 24 Stunden (von 19.00 Uhr bis 19.00 Uhr).

Tab. 8: Definition der observierten Verhaltensweisen

Verhaltensweise	Definition
„Gehen“	Aktive Bewegung zum Zeitpunkt der Observation
„Stehen“	Stillstehen, ohne direkte Bewegung
„Liegen“	Liegen am Boden

3.7 Erfassung von Körperoberflächentemperaturen mittels Infrarotthermographie

Es wurden sowohl bei Gruppe 1 als auch bei Gruppe 2 wöchentlich Thermographieaufnahmen angefertigt. Bei Gruppe 1 wurden nur bis 4 Wochen nach der Hitzeperiode Aufnahmen gemacht, da dann ein technischer Defekt des Gerätes vorlag, der nicht kurzfristig behoben werden konnte. Das Gerät wurde jedoch bis zu Versuchsbeginn von Gruppe 2 repariert.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde das Thermovision® 900 System der AGEMA Infrared System AB (Schweden) verwendet. Dies setzte sich aus einem Thermovision® 900 LW (Long Wave) Scanner mit auswechselbarem 20°-Objektiv, System Controller (speziell für Thermovision® 900 System entwickelter Computer), Monitor und einer modifizierten Tastatur zusammen. Der Scanner arbeitete im Langwellenbereich der IR-Spektrums (8-12 µm). Für die Messungen wurde ein Scannermessbereich von -30°C bis 80°C gewählt. Der Scanner hatte eine Abtastrate von 15 Hz bei einer Auflösung von jeweils 230 Pixel in 136 Zeilen. Die Auflösung erhöhte der Prozessor auf ein Bildformat von 272 Pixel x 136 Zeilen.

Die Wärmestrahlung des Objektes wurde durch das Objektiv und verschiedene Spiegel auf einem im Scanner befindlichen IR-Detektor fokussiert. Das Ausgangssignal des im Scanner befindlichen IR-Detektors wurde in ein digitales Signal umgewandelt und an den Controller weitergeleitet. Dieser verarbeitete das Signal und stellte die ermittelten

Oberflächentemperaturen eines Messobjektes als Echtzeitbild in Falschfarben (Farb- oder Grauton) auf dem Monitor dar. Jedem Farbton des Bildes war eine bestimmte Temperatur zugeordnet (Skala am Rand des IR-Bildes). Die Zuordnung der Farben erfolgte willkürlich und wurde den Oberflächentemperaturen angepasst (siehe Abb. 42-48).

Um ein Bild eines bewegten Objektes (des Lamas) aus einer Echtzeitbildfolge zu einem bestimmten Zeitpunkt abzuspeichern, wurde das gewünschte Bild „eingefroren“. Im Anschluss wurde das Bild ohne Informationsverlust im systemeigenen Dateiformat gespeichert.

Pro Tier und Erfassungstag wurde je ein Bild des Rumpfes (rechte Seite), ein Bild des Skrotums und ein Bild des Anus abgespeichert (Abb. 39, 40, 41, 42).

3.7.1 Auswertung der IR-Bilder

Die Berechnung der Oberflächentemperatur des Objektes erfolgte mit Hilfe einer Kalibrierungsfunktion aus der vom Scanner empfangenen IR-Strahlung. Durch eine systeminterne Messformel (Gleichung (AGEMA, 1992)) erfolgte eine Kompensation der Dämpfung durch die Atmosphäre und der Störung durch die Eigenstrahlung der Atmosphäre. Es wurden für die einzelnen Messsituationen gültige Objektparameter (Temperatur von Atmosphäre und Umgebung, relative Luftfeuchtigkeit, Entfernung zum Objekt und Emissionsgrad) eingegeben.

Gleichung (AGEMA, 1992):

$$I_m = I(T_{obj}) \times t \times e + t \times (1-e) \times I(T_{amb}) + (1-t) \times I(T_{atm})$$

$I(T)$	=	Thermischer Wert
I_m	=	Thermischer Wert für die gesamte Radiation
t	=	Wirksame atmosphärische Transmission
e	=	Emissionsgrad des Objektes (des Felles)
T_{amb}	=	Temperatur der Umgebung
T_{atm}	=	Atmosphärische Temperatur

Die Temperatur der Umgebung und die Temperatur der Atmosphäre waren unter den Bedingungen des Versuches als identisch anzusehen. Als Emissionsgrad von Lamawolle wurde der Wert 0,947 eingesetzt. Er entspricht dem Emissionsgrad von Rinderfell (BAROW, 1998).

Für die Auswertung der IR-Bilder stand eine systemeigene Software zur Verfügung. Mit dieser konnten innerhalb eines IR-Bildes Punkte, Linien oder Flächen (Kreis, Rechteck, Freihand gezeichnet) markiert werden, für die der Controller die mittlere, minimale und maximale Oberflächentemperatur (inkl. Standardabweichungen) ermittelte. Die Messgenauigkeit betrug laut Hersteller $\pm 1^\circ\text{C}$.

Für die Auswertung der Oberflächentemperatur des Rumpfes wurden drei gleichgroße Kreise (657 Messpunkte) verwendet. Der vordere Kreis (Abb. 39, AR03) hatte seinen Mittelpunkt in der Mitte einer gedachten Linie zwischen Brustbein und dorsalem Rand des Schulterblattes. Der mittlere Kreis (Abb. 39, AR02) hatte seinen Mittelpunkt in der Mitte einer gedachten Linie zwischen Ellenbogenfalte und Kniefalte. Der hintere Kreis (Abb. 39, AR01) hatte seinen Mittelpunkt auf einer gedachten Linie zwischen Kniegelenk und Schambein.

Die Messung der skrotalen Temperaturen (Abb. 40) erfolgte getrennt für den rechten und linken Hoden mit zwei Freihandflächen (Abb. 41, AR01, AR02). Für die Auswertung wurden der Mittelwert aus den Messwerten des rechten und des linken Hodens errechnet und als Skrotaltemperatur verwendet. Stand nur ein Messwert zur Verfügung (nach einseitiger Kastration), so wurde der Wert des verbleibenden Hodens als Skrotaltemperatur angesehen. Zusätzlich wurden je Hoden 5 Punkte (Abb. 41, SP01-SP10) auf einer gedachten senkrechten Linie durch jeden Hoden ausgewertet, um einen eventuellen Temperaturgradienten von dorsal nach ventral festzustellen.

Repräsentativ für die Körperoberflächentemperatur in einem thermalen Fenster wurde der Anuskegel (Abb. 42) mit einer Freihandfläche dargestellt und die Temperaturen in diesem Bereich ausgewertet.

3.8 Blutentnahme und Hormonbestimmung

3.8.1 Blutentnahme

Die Blutentnahme erfolgte in beiden Durchgängen einmal wöchentlich. Um circadiane Schwankungen der Hormonwerte zu vermeiden, erfolgte sie immer um 14.00 Uhr.

Es wurden 1,2 mm dünne und 40 mm lange Kanülen mit Luer-Konus (BD Microlance™ 3, Heiland, Hamburg) und Serummonovetten (Monovette® 9 ml Z, Sarstedt AG & Co., Nümbrecht) verwendet. Die Tiere wurden dazu mit einem Halfter angebunden und von einer Hilfsperson fixiert. Die Blutentnahme erfolgte im oberen Drittel der linken *Vena jugularis*. Je Tier wurden ca. 8 ml Blut entnommen. Nach der Gerinnung des Blutes wurden die Röhrchen

10 min bei 2500 U/min zentrifugiert (Heraeus, Labofuge III, Hanau), das Serum abpipettiert und bis zur weiteren Verarbeitung in 1 ml Eppendorfgefäßen bei -25°C tiefgefroren.

3.8.2 Hormonbestimmung

3.8.2.1 Schilddrüsenhormone

Die Bestimmungen der Schilddrüsenhormonwerte fanden in der Zentralen Biotechnologischen Betriebseinheit (Strahlencentrum) der Justus-Liebig-Universität Giessen statt.

Die Bestimmungen von T₃- und T₄-Werten erfolgte mittels des jeweiligen Radioimmunoassays (Canine T₄ bzw. T₃, Coat-A-Count (¹²⁵I)) der Firma Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, entsprechend den Gebrauchsanleitungen. Es wurden Doppelbestimmungen durchgeführt und bei Abweichungen über 10% wurde der Test für die jeweilige Probe wiederholt.

3.8.2.2 Testosteron

Es wurden nur Testosteronwerte in die Auswertung miteinbezogen, die von Gruppe 1 (nicht kastriert) und von Gruppe 2 (vor der ersten Kastration) stammten. Somit konnte der Vergleich der Testosteronwerte zwischen den Gruppen nur an Werten in der Hitzeperiode erfolgen.

Die Bestimmung von Testosteron wurde im Steriodlabor von Prof. Hoffmann in der Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere mit Tierärztlicher Ambulanz der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt.

Die quantitative Bestimmung von Testosteron wurde mittels Radioimmunotest (RIA) nach vorheriger Extraktion durchgeführt und erfolgte nach dem von HOFFMANN (1977) und PARADISI et al. (1980) beschriebenen Prinzip des Kompetitionsassays. Alle Bestimmungen erfolgten im Doppelansatz unter Einbeziehung von Qualitätskontrollen. Die Qualitätskontrollen waren laborinterne Kontrollseren mit definierten Testosteronkonzentrationen (jeweils eine Probe von einem Wallach, einem Hengst und einem Rüden).

Die Extraktion erfolgte in zwei Extraktionszyklen in 15 ml-Wheaton-Schraubgläsern (Wheaton Scientific, New Jersey) mit 0,1 ml Serum und 2 ml Toluol (Merck, Darmstadt) am Rotationsmischer (Heidolph-Elektro GmbH, Kelkheim) (15 min). Nach kurzem Zentrifugieren (Varifuge K, Heraeus-Christ GmbH, Hanau) bei 3500 U/min wurde die wässrige Phase im Alkohol-Trockeneisbad (ca. -55°C) gefroren und der organische Überstand

in ein RIA-Glasröhrchen (Sarstedt, Nümbrecht) dekantiert. Anschließend wurde die extrahierte Probe im Vortex-Evaporator (Haake-Buchler Messtechnik GmbH, Karlsruhe) niedertrocknet. Der Trockenrückstand wurde in 0,1 ml BSA-Puffer aufgenommen.

Zu den so aufbereiteten Proben wurden der ^3H -Ligand (0,1 ml) und die Antiserumverdünnung (0,4 ml) zugegeben und geschüttelt (30 s). Nach einer Vorinkubation über 20 min bei 37°C und einer Hauptinkubation über mindestens 1 h bei 0-4°C erfolgte die Trennung von freiem und gebundenen Liganden durch Adsorption des freien Liganden an die Holzkohle einer 0,5%igen Holzkohlesuspension (0°C). Nach Sedimentation (beschleunigt durch Zentrifugation (Varifuge K, Heraeus-Christ GmbH, Hanau) (3500 U/min, 15 min, 0°C)) wurden 0,6 ml des Überstandes mittels Dispenser-Diluter (Hamilton, Darmstadt) abgehebert und mit 3,0 ml Szintillationsflüssigkeit (Aquasafe 300 Plus, Zinsser Analytik, Frankfurt) in Szintillationsfläschchen (Zinsser, Analytic GmbH, Frankfurt) versetzt, geschüttelt und zur Ermittlung der ^3H -Impulse in einen Flüssigkeitsszintillationszähler (LS5000TD, Fa. Beckmann, München) gestellt.

Parallel zu den Serumproben wurden Kontrollproben aufbereitet, sowie die Standardkurvenpunkte und die für die Testauswertung notwendigen Bezugsproben „Totale“, „NSB“ und „BO“ angesetzt. Die „Totale“ gibt die Gesamtmenge der in den RIA eingebrachte Radioaktivität an. Die nichtspezifische Bindung („NBS“) bezeichnet den Anteil an Radioaktivität, der bei Abwesenheit des Antiserums unspezifisch gebunden wird. Der „BO“-Wert gibt den Anteil an Radioaktivität an, der in Abwesenheit von unmarkiertem Antigen gebunden wird.

Die Auswertung erfolgte mittels Standardkurve, die einen Bereich von 20 bis 2560 fmol/ml abdeckte. Unter Beachtung von Totale, NSB und BO konnte die Auswertung direkt nach der Messung erfolgen. Die Ergebnisse wurden in fmol/ml angegeben und in ng/ml umgerechnet.

Verwendete Substanzen, Reagenzien bei der Testosteronbestimmung:

- ^3H -Ligand: (1,2,6,7- ^3H)-4-Androsten-17 β -ol-3-on, (Amersham Buchler, Braunschweig) (ca. 250 μCi ^3H -Testosteron in 250 μl , die Aktivität beträgt ca. 50 Ci/mmol).
- ^3H -Testosteron-Stammlösung: 250 μCi ^3H -Testosteron in 250 μl ad 10 ml Methanol
- Antiserum: GI-testosteron I-Giessen, gewonnen nach Immunisierung von Kaninchen mit 4-Androsten-11 α , 17 β -Diol-3-on-11-HS:BSA (Paesel, Frankfurt). Die Endverdünnung betrug 1:50000.

- Phosphatpuffer:
2,686 g Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4 , Fluka Ag, Neu-Ulm)
8,356 g Di-Natriumhydrogenphosphat (Na_2HPO_4 , Merck, Darmstadt)
0,325 g Natriumazid (NaN_3 , Merck, Darmstadt)
wurden in 1000 ml Aqua dest. gelöst und auf einen pH-Wert von 7,2 eingestellt.
- BSA-Phosphat-Puffer (Aufbewahrung bei 4°C): 0,1 g bovines Serum Albumin (Albumin, Bovine 98-99% Albumin, Sigma, Deisenhofen) wurde in 100 ml Phosphatpuffer gelöst.
- Kohlesuspension (Aufbewahrung bei 4°C):
2,5 g Holzkohle (Norit A[®], Partikelgröße 4-7 nm, Serva, Heidelberg.)
0,25 g Dextran 60 (Serva, Heidelberg.) in 500 ml Aqua dest.

3.9 Spermagewinnung und -beurteilung

3.9.1 Spermagewinnung

Die Spermagewinnung erfolgte einmal wöchentlich bei 4 Tieren (Lama 1, 2, 5, 6) der Gruppe 1. Die Tiere wurden zur Spermagewinnung aus den beheizbaren Stallungen in einen Vorraum mit Zimmertemperatur gebracht.

Als Sprungpartner diente ein selbstgebautes Lamastutenphantom (Abb. 43), auf das die Hengste vor Versuchsbeginn trainiert worden waren. Das Phantom bestand aus einem massiven Rumpfteil, an das ein hölzerner Hals montiert war. Das gesamte Phantom wurde mit einem gegerbten Lamafell bespannt.

Der Deckakt wurde zeitlich auf 10 Minuten begrenzt. Zur Spermagewinnung wurde eine künstliche Schafvagina (Bertram GmbH, Hannover) verwendet. Die Temperatur im Scheideninneren wurde in einem Bereich zwischen 37°C und 39°C eingestellt (je nach individuellen Vorlieben des Hengstes). Der Innendruck der Vagina wurde ebenfalls auf die individuellen Bedürfnisse der einzelnen Hengste abgestimmt.

Die Vagina wurde in ein regulierbares Heizkissen (TM32/Type P5, 230V, 50W, Beurer, Ulm) eingewickelt, um eine Auskühlung während des Deckaktes zu verhindern. Das Spermaauffangglas (Bertram GmbH, Hannover) wurde für den Absamvorgang isoliert, um eine Überhitzung und damit Schädigung der Ejakulate zu vermeiden.

Die Vagina wurde manuell links neben das Phantom gehalten und der Penis des Tieres in Richtung Vagina abgelenkt (Abb. 44).

Vor (Libido A) und während des Deckaktes (Libido D) wurde die Libido des Hengstes nach folgender selbstgewählter Einteilung beurteilt.

Libido A (= Aufsprung):

- 1= sofortiger Aufsprung
- 2= Aufsprung innerhalb von 2 Minuten
- 3= Aufsprung innerhalb von 10 Minuten
- 4= Aufsprung ohne Ejakulation
- 5= kein Aufsprung

Libido D (= Deckakt):

- 1= permanente Penetration der Vagina
- 2= bis zu 5x Verlassen und erneute Penetration der Vagina
- 3= bis zu 10x Verlassen und erneute Penetration der Vagina
- 4= Aufstehen während des Deckaktes
- 5= vorzeitiges Abbrechen des Deckaktes

3.9.2 Ejakulatbeurteilung

Anhand der Messskala des Tulpenglases wurde das Volumen des Ejakulates bestimmt.

Die Konsistenz wurde mit einer Skala von 1 bis 3 bewertet.

- 1= flüssig
- 2= zähflüssig
- 3= zäh

Die Farbe des Ejakulates wurde in drei Kategorien eingeteilt: elfenbeinfarben, weißlich, oder milchig.

Bei der Beurteilung des Geruchs des Ejakulates wurde zwischen „tierartspezifisch“ und „abnorm“ unterschieden.

Eventuell vorhandene Beimengungen im Ejakulat wurden vermerkt.

Der pH-Wert des Ejakulates wurde mit Hilfe eines Indikatorpapiers (pH 6,4-8,0, Machery-Nagel, Düren) erfasst.

Die Anzahl der beweglichen Spermien wurde unmittelbar nach der Spermagewinnung ermittelt. Hierzu wurde ein kleiner Tropfen Sperma auf einen Objektträger aufgebracht, mit einem Deckglas abgedeckt und bei 100facher Vergrößerung unter dem Mikroskop (Zeiss,

Jena) beurteilt. Die Anzahl sich bewegender Spermien wurde geschätzt und in Prozent angegeben (BUSCH et al., 1991).

Vor der Dichtebestimmung wurde das Ejakulat durch mehrmaliges auf- und abpipettieren durchmischt. Es wurde in einer Erythrozytenmischpipette (WDT, Garbsen) mit 10%iger NaCl-Lösung 1:200 verdünnt und mit Hilfe einer Thoma-Zählkammer (WDT, Garbsen) wurden die Spermien in 10 großen Quadraten ausgezählt. Diese Zahl wurde später in Mio Spermien/ μ l Ejakulat umgerechnet (BUSCH et al., 1991). Waren weniger als 2 Spermien in den 10 Quadraten vorhanden, wurde die Dichtebestimmung mit einer 1:100 Verdünnung wiederholt.

Zur Darstellung der morphologisch veränderten Spermien wurde eine Eosin-Nigrosin-Färbung (BLOM, 1968) verwendet. Hierzu wurde ein Tropfen Sperma mit einem Tropfen Färbelösung auf einem Objektträger vermischt. Mit einer Pipette wurde ein kleiner Tropfen des Gemisches auf einen frischen Objektträger überführt und mit Hilfe eines schräg gestellten Objektträgers ausgestrichen. Der Ausstrich wurde nach Lufttrocknung mit einer 400fachen Vergrößerung unter dem Mikroskop (Zeiss, Jena) beurteilt. Es wurden je Ausstrich 200 Spermien ausgezählt und die morphologischen Veränderungen und deren Häufigkeit festgestellt.

Hierbei wurden unterschieden (modifiziert nach BUSCH et al., 1991):

- Kopf
 - lose
 - missgebildet
- Mittelstück
 - geknickt
- Schwanz
 - lose
 - geknickt
 - Plasmotropfen
- Doppelkopf
- Doppelschwanz

3.10 Kastration

3.10.1 Kastrationszeitpunkte

Die Kastrationszeitpunkte (Datum und Versuchsphase) der Lamas von Gruppe 2 und 3 sind in Tabelle 9 dargestellt. Die Tiere der Gruppe 3 wurden zu den in Tabelle 9 angegebenen Terminen kastriert.

Tab. 9: Kastrationszeitpunkte (Datum und Versuchsphase) der Lamas aus Gruppe 2 und 3

Datum	Versuchshase	Versuchsgruppe
24.02.03	Erster Tag von Phase 5b (=Adaptationsphase 2)	Gruppe 2
10.03.03	Phase 7	
24.03.03	Phase 7	
07.04.03	Phase 7	
12.02.03		Gruppe 3
09.04.03		
09.04.03		

3.10.2 Narkose und Operationsvorbereitung

Für die Allgemeinanästhesie wurde eine Kombination aus Xylazin 2%[®] (Serum-Werk, Bernburg) und Ursotamin[®] (Serum-Werk, Bernburg) in der Dosierung von 0,4 mg Xylazinhydrochlorid/kg Körpergewicht und 40 mg Ketaminhydrochlorid/kg verwendet (PUGH und GAULY, 1995). Die Injektion erfolgte mit einer Mischspritze in die linke *Vena jugularis*. Bei Narkoseeintritt wurde der Kopf des Tieres fixiert, um Verletzungen zu vermeiden.

Das Tier wurde in die linke Seitenlage verbracht und das rechte Hinterbein nach dorso-caudal ausgebunden. Das Operationsgebiet wurde mit alkoholischer Jodlösung (WDT, Garbsen) und Mullkompressen (Wilh. Weisweiler GmbH & Co KG, Münster) gereinigt und desinfiziert. Zum Feuchthalten der Augen wurde eine Augensalbe (Pan-Ophtal[®], Dr. Winzer Pharma GmbH, Olching) auf die Cornea aufgebracht.

3.10.3 Operation

Der zu kastrierende Hoden wurde mit der linken Hand im Skrotum in caudaler Lage fixiert. Die Inzision der Haut (Skalpell Größe 18, Aesculap AG, Tuttlingen) erfolgte auf etwa 4 cm am cranialen Bereich des Hodens in Längsrichtung. Der Hoden wurde mit dem *Processus vaginalis* so weit wie möglich aus der Wunde hervorgelagert und mit einer Klemme fixiert. Der noch bedeckte Samenstrang wurde stumpf von Fett und Bindegewebe befreit. Mit Hilfe eines resorbierbaren Fadens der Stärke 3 USP=6EP (PGS-Nahtmaterial, WDT, Garbsen) wurde der Samenstrang körpernah ligiert. Eine zweite Ligation wurde proximal in 1,5 cm Abstand angebracht. Der Hoden wurde distal der ersten Ligation mit einem Emaskulator

(nach Hausmann, Heiland, Hamburg) abgesetzt. In die Wundhöhle wurde ein antibiotikahaltiger Puder (Penicillin-Sulfonamid-Puder, WDT, Garbsen) eingebracht.

3.10.4 Nachsorge

Dem Tier wurde zur antibiotischen Abdeckung eine systemische Antibiose (Strepdipen-Suspension, wässrig[®], Serum-Werk Bernburg) über 3 Tage verabreicht. Die Injektion erfolgte subkutan an der seitlichen Brustwand in einer Dosierung von 1 ml/ 10 kg Körpergewicht. Die Wunden wurden täglich kontrolliert.

3.11 Histologische Untersuchung der Hoden

3.11.1 Fixierung

Sofort nach der Kastration wurde der Hoden von den Hodenhüllen und dem Nebenhoden befreit. Das Gewicht des Hoden wurde mit einer Digitalwaage (Typ Juwelier gold, Sartorius, Göttingen) ermittelt.

Aus der Mitte des Hodens wurde eine 1 cm dicke Scheibe herausgeschnitten, so dass das *Rete testis* in der Mitte und die *Tunica albuginea* außen sichtbar blieben. Diese Scheibe wurde geviertelt und in Bouin'scher Lösung fixiert. Nach einer Anfixationszeit von einer Stunde wurden die Viertel zu Achteln halbiert und erneut in Bouin'sche Lösung verbracht.

- Fixationsgemisch nach Bouin (Bouin'sche Lösung)

15 ml gesättigte wässrige Pikrinsäure (Sigma, Deisenhofen)

5 ml konz. Formol (Merck, Darmstadt)

1 ml Eisessig (Merck, Darmstadt)

Der Eisessig wurde erst unmittelbar vor Gebrauch in die Lösung gegeben.

Die fixierten Hoden verblieben für 24 h in der Bouin'schen Lösung. Anschließend wurde diese durch 70%igen Alkohol (Merck, Darmstadt) ersetzt, welcher täglich über eine Woche gewechselt wurde.

3.11.2 Einbettung in Paraffin

Die Hoden wurden am Institut für Veterinäranatomie, Histologie und Embryologie der Justus-Liebig-Universität Gießen, Arbeitsgruppe Prof. Bergmann, in Paraffin eingebettet. Die Hoden wurden mit einem Gewebeeinfiltrationsautomaten (Vacuum-Gewebeeinfiltrationsautomat TP 1050, Leica, Wetzlar) mit Paraffin infiltriert und anschließend auf Standardeinbettkassetten in Paraffin eingebettet (Paraffinausgießstation EG 1160, Leica, Wetzlar).

3.11.3 Beschichtung der Objektträger

Die Objektträger wurden folgendermaßen mit 3-Aminopropyltriethoxysilan (APTEX, Sigma, Deisenhofen) beschichtet:

- Objektträger in A. bidest spülen und abtropfen lassen
- in frischem Aceton (Merck, Darmstadt) spülen, abtropfen und trocknen lassen
- 5 min in 2% APTEX (Sigma, Deisenhofen) (=4ml APTEX auf 196 ml Aceton)
- 2 min in Leitungswasser
- 2 min unter fließendem Leitungswasser spülen
- 2 min in A. bidest, abtropfen und trocknen lassen

3.11.4 Anfertigung und Färbung der Schnitte

Es wurden ca. 7 µm dicke Schnitte mit Hilfe eines Schlittenmikrotoms (SM 2000 R, Leica, Wetzlar) angefertigt. Diese wurden mit einem feinen Pinsel aufgenommen und in ein 40°C warmes Wasserbad (GFL® 1052, Burgwedel) überführt. Die so geglätteten Schnitte wurden auf die zuvor beschichteten Objektträger aufgezogen. Anschließend wurden die Schnitte über Nacht bei 37°C getrocknet (Brutschrank Memmert® BE 500, Schwabach).

Pro Hoden wurden jeweils zwei Objektträger mit je 3 Schnitten für die Färbung verwendet.

Es wurde die Hämatoxilin-Eosin-Färbung nach folgendem Schema (modifiziert nach ROMEIS, 1968) verwendet:

- 3 x 10 min Xylol (Merck, Darmstadt)
- 5 min Ethanol, absolut
- 5 min Ethanol, 96%
- 5 min Ethanol, 80%
- 5 min Ethanol, 70%

- 5 min Ethanol, 50%
- 5 min A. dest
- 6 min Hämatoxilin nach Mayer
- 10 min fließend in Leitungswasser wässern
- 10 min Eosin
- 1 min Leitungswasser
- 1 min Ethanol, 70%
- 1 min Ethanol, 80%
- 2 min Ethanol, 80%
- 2 x 2 min Ethanol, 96%
- 3 x 2 min Ethanol, 100%
- 3 x 10 min Xylol (Merck, Darmstadt)

Verwendete Lösungen bei der H.E.-Färbung

- Hämatoxilin nach Mayer
 - Hämatoxilin (Merck, Darmstadt) 1,0 g
 - A. bidest. 1000 ml
 - Die Festsubstanz wird unter Schütteln gelöst.
 - Na₂SO₃ (Merck, Darmstadt) 0,2 g
 - Kalialaun (Merck, Darmstadt) 50,0 g
 - Chloralhydrat (Merck, Darmstadt) 50,0 g
 - Zitronensäure (Merck, Darmstadt) 1,0 g
- Eosin
 - Eosin G (Merck, Darmstadt) 1,0 g
 - A. dest. 100 ml
 - Eisessig (Merck, Darmstadt) 1 Tropfen

Anschließend wurden die Schnitte mit Eukitt® (Hecht-Mertens, Kiel) und Deckgläsern (24 mm x 50 mm, Menzel, Braunschweig) eingedeckt.

3.11.5 Auswertung der H.E.-gefärbten Schnitte

Je Hoden wurde ein histologischer Schnitt lichtmikroskopisch (Mikroskop: Zeiss, Jena) mit 400facher Vergrößerung ausgewertet. Die Auswertung erfolgte blind, d.h. dem Auswertenden war nicht bekannt, zu welchem Zeitpunkt der Hoden entnommen wurde und um welchen Hengst es sich handelte. Je Hoden wurden 200 Tubulusquerschnitte einem Stadium zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte nach der Einteilung und Beschreibung von DELHON und LAWESEWITSCH (1987). Die beiden Autoren verwendeten die Einteilung in die Stadien 1 bis 8. In der hier vorliegenden Arbeit wurden die Stadien umbenannt in Stadium I bis VIII (siehe Kapitel 2.5.1.1.1 und Abb. 45, 46, 47). Da Stadium II und III nicht eindeutig getrennt werden konnten, wurden diese zwei Stadien gemeinsam aufgenommen. Konnte ein Tubulusquerschnitt nicht eindeutig einem Stadium zugeordnet werden, wurde er in die Kategorie „kein Stadium“ eingestuft (Abb. 47).

Zusätzlich wurden die auftretenden mehrkernigen Riesenzellen (Spermatiden und Spermatozyten) gezählt (Anhang Abb. 48).

3.12 Immunhistochemischer Nachweis von Ki-67

Die Anfertigung der Schnitte erfolgte wie in den Kapiteln 3.11.1 bis 3.11.3 beschrieben. Pro Objektträger wurden 2 Schnitte aufgezogen, einer der Schnitte wurde nur mit Hämatoxyllin gegengefärbt und diente somit als Negativkontrolle, am anderen Schnitt erfolgte der immunhistochemische Nachweis von Ki-67 nach folgendem Schema (modifiziert nach WROBEL et al., 1993):

- 1 x 5 min Xylol (Merck, Darmstadt) (Trockenschrank 60°C)
- 2 x 5 min Xylol (Merck, Darmstadt)
- 2 x 5 min abs. Ethanol
- 1 x 96%iges Ethanol
- 1 x 5 min 70%iges Ethanol
- 1 x A. bidest
- waschen in 1 x Tris-HCl-Puffer
- Mikrowellenbehandlung (25 min, bei 1000 W in Citratpuffer)
- 30 min 3%iges H₂O₂ in Methanol
- waschen in 1 x Tris-HCl-Puffer
- 60 min 5%iger BSA-Blockpuffer inkubieren

- 60 min bei Raumtemperatur Inkubation in feuchter Kammer mit dem monoklonalen Primärantikörper Ki-67 MIB 1 (Dianova, Hamburg), 1:100 Verdünnung in 5%igem BSA-Blockpuffer
- waschen in 1 x Tris-HCl-Puffer
- 60 min Inkubation in feuchter Kammer mit Sekundärantikörper (goat-anti-mouse, biotinyliert, Dianova, Hamburg), 1:100 Verdünnung
- waschen in 1 x Tris-HCl-Puffer
- 60 min Inkubation mit ABC-Komplex (Vectastain, ABC-Kit)
- waschen in 1 x Tris-HCl-Puffer
- Entwickeln in Stable DAB (Diaminobenzidin) (Research Genetics, 750118)
- Abstoppen in kaltem 1 x Tris-HCl-Puffer
- Gegenfärbung mit Hämatoxylin (siehe H.E.-Färbung)
- Eindecken in Kaiser's Glyceringelatine (Merck, Darmstadt)

Verwendete Substanzen, Reagenzien und Lösungen beim immunhistochemischen Nachweis von Ki-67:

- Citratpuffer
Stammlösung A: 21,01 g $C_6H_8O_7 \cdot xH_2O$ (Merck, Darmstadt) in 1 l A. bidest
Stammlösung B: 29,41 g $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ (Merck, Darmstadt) in 1 l A. bidest
Citratpuffer: 18 ml Stammlösung A + 82 ml Stammlösung B
auf 1 l A. bidest auffüllen, pH 6,0
- Tris-HCl-Puffer
10 x Tris-HCl-Puffer: 121,1 g Tris-HCl (Sigma, Deisenhofen) + 58,4 g NaCl (Merck, Darmstadt) in 1 l A. bidest
1 x Tris-HCl-Puffer: 100 ml 10 x Tris-HCl-Puffer + 900 ml A. bidest + 5 ml Triton X-100

Anschließend wurden die Schnitte mit Eukitt® (Hecht-Mertens, Kiel) und Deckgläsern (24mm x 50mm, Menzel, Braunschweig) eingedeckt.

Je Hoden wurden 100 Tubuli bei 400facher Vergrößerung unter einem Lichtmikroskop (Zeiss, Jena) ausgezählt. Der Prozentsatz an Ki-67 positiven Spermatogonien zu negativen Spermatogonien wurde ermittelt.

Zusätzlich wurden je Hoden für jedes Stadium 10 Tubulusquerschnitte ausgezählt. Hierbei wurden ebenfalls nur die Stammspermatogonien je Tubulusquerschnitt gezählt. Unterschieden wurde zwischen Ki-67 negativen und Ki-67 positiven Zellkernen (Anhang Abb. 45, 46, 47).

3.13 Haarlängenmessung

Die Haarlängenmessung erfolgte bei beiden Gruppen jeweils am Anfang und Ende der Hitzeperiode. Es wurde ein handelsüblicher Messschieber aus Kunststoff verwendet. Je Tier wurden fünf Stellen (Hals, Schulter, Rücken, Oberschenkel und Bauch) vermessen.

3.14 Hodenvermessung

Die Größenmessung der Hoden im Skrotum erfolgte bei den Tieren mit Hilfe eines handelsüblichen Messschiebers aus Kunststoff. Bei Gruppe 2 wurden im Verlauf nur die jeweils verbliebenen Hoden vermessen. Es wurden Länge und Breite des einzelnen Hodens mit dem umgebenden Skrotum erfasst (Abb. 49). Daraus wurde die Skrotalfläche je Hoden mit Hilfe einer Ellipse geschätzt ($A=3,14/4 \times \text{Länge} \times \text{Breite}$).

3.15 Körpergewicht der Tiere

Das Körpergewicht der Hengste beider Gruppen wurde jeweils am 1. Tag der Hitzephase (Phase 3 bzw. 6) und am 1 Tag nach der Hitzephase (entspricht 1. Tag der Phase 2b bzw. 5b) mit Hilfe einer geeichten Balkenwaage für Großtiere (Baumann Laufgewichtswaage, Typ 1900SA) ermittelt.

3.16 Statistische Auswertung der Daten

Die Auswertung der Parameter Puls, Atmung, Rektaltemperatur, Körperoberflächentemperatur „vorne“, „mitte“, „hinten“, Skrotaltemperatur, Testosteron, T_3 und T_4 erfolgte mit SAS version 8.1 (SAS, 1989). Die genannten Parameter wurden auf Normalverteilung geprüft. Im linearen Modell wurden die Gruppe (1, 2), die Phase (H, E), der Schurtyp (g, h, u) und die Interaktion Phase*Schurtyp als fixe Effekte berücksichtigt.

Die Auswertung des Wasserverbrauchs/Stall erfolgte mit SPSS 11.4 für Windows.

Im Modell der Spermaparameter wurden der Schurtyp und das Datum als fixe Effekte berücksichtigt. Die Berechnungen erfolgten mit SAS version 8.1 (SAS, 1989). Die einzelnen Probezeitpunkte wurden mithilfe linearer Kontraste gegen den Startwert getestet.

Zusätzlich wurde mit dem Programm SAS version 8.1. die Verteilung der Stadien der Hodenhistologie zum jeweiligen Kastrationszeitpunkt berechnet. In diesem Modell wurden der Kastrationszeitpunkt und das Lama genestet in dem Kastrationszeitpunkt berücksichtigt. Die Signifikanzen wurden mithilfe eines Chiquadrattestes berechnet.

Die Proliferation der Spermatogonien im Hodenepithel wurde mit dem Programm SAS version 8.1. berechnet. Die ausgezählten Tubuli wurden je nach Anteil der Ki-67 positiven Spermatogonien in 7 Gruppen eingeteilt, da keine Normalverteilung der Daten vorlag:

Gruppe1: 0% der Spermatogonien = Ki-67 positiv

Gruppe 2: 0% bis 10% ($\leq 10\%$) der Spermatogonien Ki-67 positiv

Gruppe 3: 10% bis 20% ($\leq 20\%$) der Spermatogonien Ki-67 positiv

Gruppe 4: 20% bis 30% ($\leq 30\%$) der Spermatogonien Ki-67 positiv

Gruppe 5: 30% bis 40 % ($\leq 40\%$) der Spermatogonien Ki-67 positiv

Gruppe 6: 40% bis 50% ($\leq 50\%$) der Spermatogonien Ki-67 positiv

Gruppe 7: über 50% der Spermatogonien Ki-67 positiv

Im Modell wurden der Kastrationszeitpunkt und das Lama genestet in dem Kastrationszeitpunkt berücksichtigt. Die Signifikanzen wurden mithilfe eines Chiquadrattestes berechnet.

Bei der Auswertung der Verhaltensparameter wurde das Programm SAS version 8.1 verwendet. Es wurden Stundenmittelwerte der Verhaltensparameter „Gehen“, „Stehen“ und „Liegen“ berechnet, wobei nur Stunden mit sechs Beobachtungszeitpunkten in die Auswertung miteinbezogen wurden. Hierbei wurden die Stunden des Tages nach der Uhrzeit benannt, d. h. Stunde 0 entsprach 0.00-1.00Uhr, Stunde 1 entsprach 1.00-2.00Uhr etc. Im Modell wurden die fixen Effekte Gruppe (1, 2), Phase (H, E), Stunde (1-24) und Lama (genestet innerhalb der Gruppe) (Gruppe1: 1, 2, 3, 4, 5, 6; Gruppe 2: 7, 8, 9, 10, 11, 12) berücksichtigt. Der Schurtyp wurde über lineare Kontraste aus dem Vergleich von Mittelwerten für die Lamas berechnet. Die beiden Adaptationswochen wurden im Modell nicht berücksichtigt.

Die bivariaten Korrelationen nach Pearson wurden mit dem Programm SPSS 11.4 für Windows errechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Gesundheitsstatus, Körpergewichte, Skrotalfläche und Wasserverbrauch der Lamahengste

Keiner der Hengste zeigte im Versuchsverlauf klinische Anzeichen von Hitzestress.

Hengst 8 zeigte in Versuchswoche 1 und 2 leichten Durchfall und bei Hengst 6 konnte in Versuchswoche 14 und 15 eine Kopfschiefhaltung in Verbindung mit Gleichgewichtsstörungen beobachtet werden. Diese Symptome klangen nach parenteraler Gabe von Antibiotika wieder ab. Keine der beiden Erkrankungen stand in direktem Zusammenhang mit der Versuchsdurchführung.

In Tabelle 10 sind die Körpergewichte der Hengste vor und nach der Hitzeperiode dargestellt. Die Körpergewichte der Gruppen 1 und 2 unterschieden sich zu Beginn der Hitzeperiode nicht signifikant ($p=0,12$) voneinander. Nach Beendigung der Hitzeperiode konnten bei Gruppe 1 (152,9 kg) signifikant ($p=0,02$) höhere Körpergewichte festgestellt werden, als bei Gruppe 2 (113,3 kg). Die Hengste der Gruppe 1 nahmen während der Hitzeperiode im Durchschnitt 6,2 kg zu, wobei Hengst 4 als einziger der Gruppe 4 kg abnahm. Die Hengste der Gruppe 2 verloren durchschnittlich 6,3 kg in der Hitzeperiode.

Bei allen Hengsten konnte in der Hitzeperiode eine tendenzielle Vergrößerung des Skrotums im Vergleich zur Erholungsperiode festgestellt werden. Die geschätzte Skrotalfläche je Hoden betrug in der Hitzeperiode durchschnittlich $14,4 \pm 6,5 \text{ cm}^2$ und in der Erholungsperiode $11,8 \pm 3,5 \text{ cm}^2$. Bei vier der Hengste (Hengst 2, 3, 6, 10) waren die Unterschiede zwischen den Perioden signifikant. Einer dieser Hengste (Hengst 3) zeigte in der Hitzeperiode ein Skrotalödem, wobei bei diesem Tier die Skrotalfläche je Hoden in der Hitzeperiode um 76,35% vergrößert war.

Der durchschnittliche Wasserverbrauch der verschiedenen Schurtypen ist in Tab. 11 dargestellt. In den Temperaturperioden gab es hinsichtlich des Wasserverbrauchs in Liter/Stall nur bei den halbgeschorenen Tieren signifikante Unterschiede. Die geschorenen und ungeschorenen Tiere tranken in den beiden Temperaturperioden gleich viel. Es können aufgrund des unterschiedlichen Körpergewichtes der einzelnen Tiere und der ausschließlichen Erfassung der Wassermenge/Stall keine Aussagen über die Unterschiede zwischen den Schurtypen getroffen werden.

Tab. 10: Körpergewichtsentwicklung (in kg) der einzelnen Lamahengste in der Hitze- und Erholungsphase

Gruppe	Lamahengst	Schurtyp	1.Tag der Hitze- und Erholungsphase	1.Tag nach Hitze- und Erholungsphase
1	1	geschoren	125	132
	2	geschoren	97,5	111,5
	3	halbgeschoren	187,5	199
	4	halbgeschoren	166	162
	5	ungeschoren	168	175
	6	ungeschoren	136,5	138
	$\bar{x} \pm SD$		146,7 \pm 33,1	152,9 \pm 31,8
2	7	geschoren	105	101
	8	geschoren	150	137
	9	geschoren	117	111
	10	ungeschoren	138	134
	11	ungeschoren	104	99
	12	ungeschoren	104	98
	$\bar{x} \pm SD$		119,7 \pm 19,8	113,3 \pm 17,8

Tab. 11: Wasserverbrauch in Liter/Stall (d.h. je 2 Lamas des gleichen Schurtyps) mit Signifikanzniveau zwischen der Hitze (H)- und Erholungsphase (E)

Schurtyp	Phase	\bar{x}	SD	Signifikanz
geschoren	H	5,5	4,6	n.s.
	E	6,2	3,3	
halbgeschoren	H	15,0	5,6	p<0,001
	E	8,2	4,2	
ungeschoren	H	5,7	4,3	n.s.
	E	5,6	2,8	

4.2 Physiologische Parameter

4.2.1 Pulsfrequenz

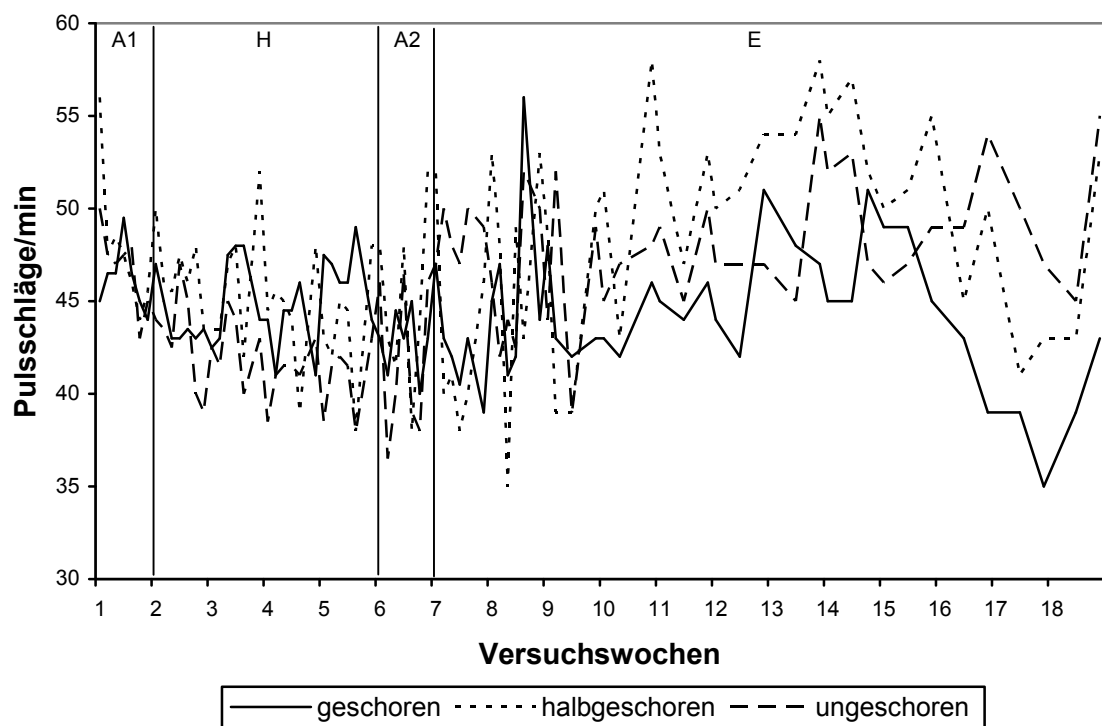
Die Gruppe hatte einen höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Einfluss auf die Pulsfrequenz. Hierbei war der LSQ-Mittelwert der Gruppe 1 mit 46,8 Pulsschlägen/min etwas höher als der von Gruppe 2 (44,3 Pulsschlägen/min). Wie in Tab. 12 dargestellt, wurden in der Hitzephase (LSQ-Mittelwert 44,9 Schläge/min) signifikant ($p < 0,05$) niedrigere Pulsfrequenzen erreicht als in der Erholungsphase (LSQ-Mittelwert 46,2 Schläge/min). Der Schurtyp zeigte hierbei einen höchstsignifikanten Einfluss ($p < 0,001$). Die Interaktion Phase x Schur war ebenfalls höchstsignifikant ($p < 0,001$).

In der Hitzephase zeigten die halbgeschorenen Tiere die höchsten Pulsfrequenzen, die sich signifikant ($p < 0,05$) von denen der geschorenen und höchstsignifikant ($p < 0,001$) von denen der ungeschorenen unterschieden (Tab.12). Die geschorenen Tiere wiesen in der Hitzephase höchstsignifikant ($p < 0,001$) höhere Pulsfrequenzen auf als die ungeschorenen Tiere. Auch in der Erholungsphase konnten bei den halbgeschorenen Tieren die höchsten Pulsfrequenzen festgestellt werden, die sich sowohl von den geschorenen als auch den ungeschorenen Tieren höchstsignifikant ($p < 0,001$) unterschieden. Die Pulsfrequenzen der geschorenen und ungeschorenen Hengste unterschieden sich in der Erholungsphase nicht signifikant.

In Abb. 8 ist der Verlauf der Pulsfrequenzen bei den verschiedenen Schurtypen dargestellt. Es ist ein Abfall der Pulsfrequenz in Adaptationsphase 1 (A1) zu erkennen. In der Hitzephase blieben die Werte relativ konstant. Zu großen Schwankungen in der Pulsfrequenz kam es in der achten und neunten Versuchswoche. Ab Versuchswoche 10 kam es zu einem Anstieg der Pulsfrequenz bei allen Schurtypen, wobei die halbgeschorenen deutlich über den Werten der beiden anderen Schurtypen lagen. 15 Wochen nach Versuchsbeginn sanken die Pulsfrequenzen wieder ab.

Tab. 12: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Pulsfrequenzen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen (g: geschoren, h: halbgeshoren, u: ungeschoren)

Phase	Schurtyp	Pulsfrequenz		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzephase	alle Tiere	44,9	0,4			p<0,05
	g	45,6	0,6] p<0,05] p<0,001] p<0,001	
	h	48,1	1,0			
	u	41,0	0,6			
Erholungsphase	alle Tiere	46,2	0,4			
	g	44,7	0,6] p<0,001] p<0,001] n.s.	
	h	49,0	0,8			
	u	44,8	0,6			



Normbereich: bis 90 Schläge/Minute (nicht dargestellt)

Abb. 8: Mittelwerte der Pulsfrequenzen der Schurtypen im Versuchsverlauf (A: Adaptationsphase, H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase); Normbereich der Pulsfrequenz (60-90 Pulsschläge/Minute)

4.2.2 Atemfrequenz

Die Gruppe hatte keinen signifikanten ($p>0,05$) Einfluss auf die Atemfrequenz, während Schurtyp, Temperaturphase und die Interaktion Phase x Schur höchstsignifikant ($p<0,001$) waren.

In der Hitze phase lagen die LSQ-Mittelwerte mit 45,9 Atemzüge/min höchstsignifikant höher als die der Erholungsphase (22,0 Atemzügen/min).

Die Atemfrequenzen der einzelnen Schurtypen in den beiden Temperaturphasen sind in Tab. 13 dargestellt. In der Hitze phase zeigten die geschorenen Hengste höchstsignifikant ($p<0,001$) niedrigere Atemfrequenzen gegenüber den halb- und ungeschorenen Tieren, wobei sich die Atemfrequenzen der halb- und ungeschorenen Tiere nicht signifikant ($p>0,05$) voneinander unterschieden. In der Erholungsphase hingegen zeigten die geschorenen Tiere zwar höchstsignifikant ($p<0,001$) niedrigere Atemfrequenzen im Vergleich zu den ungeschorenen Tieren, der Unterschied zu den halbgeschorenen Hengsten war jedoch nicht signifikant. Die halb- und ungeschorenen Tiere unterschieden sich in dieser Phase höchstsignifikant ($p<0,001$) voneinander (Tab. 13).

Im Versuchsverlauf der Atemfrequenzen, dargestellt in Abb. 9, ist zu erkennen, dass vor allem die halb- und ungeschorenen Hengste in der ersten Woche der Hitze phase sehr hohe Atemfrequenzen aufwiesen, die sich im Verlauf einer Woche auf einem niedrigeren Niveau einpendelten, das bis zur Beendigung der Hitze phase beibehalten wurde.

Die geschorenen Tiere zeigten in der ersten Adaptationsphase (A1) einen langsameren Anstieg und in der zweiten Adaptationsphase (A2) einen schnelleren Abfall der Atemfrequenzen als die beiden anderen Schurtypen. Die ungeschorenen Tiere lagen mit ihren Atemfrequenzen kontinuierlich über den Werten der geschorenen Tiere.

Tab. 13: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Atemfrequenzen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen (g: geschoren, h: halbgeschoren, u: ungeschoren)

Phase	Schurtyp	Atemfrequenz		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzeperiode	alle Tiere	45,9	0,6	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> $p < 0,001$ n.s. </div> <div style="margin-right: 20px;"> $p < 0,001$ </div> <div> $p < 0,001$ </div> </div>		
	g	39,8	0,9			
	h	50,5	1,5			
	u	47,5	0,9			
Erholungsphase	alle Tiere	22,0	0,6	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> n.s. $p < 0,001$ </div> <div style="margin-right: 20px;"> $p < 0,001$ </div> </div>		
	g	19,5	0,9			
	h	20,0	1,2			
	u	26,4	0,9			

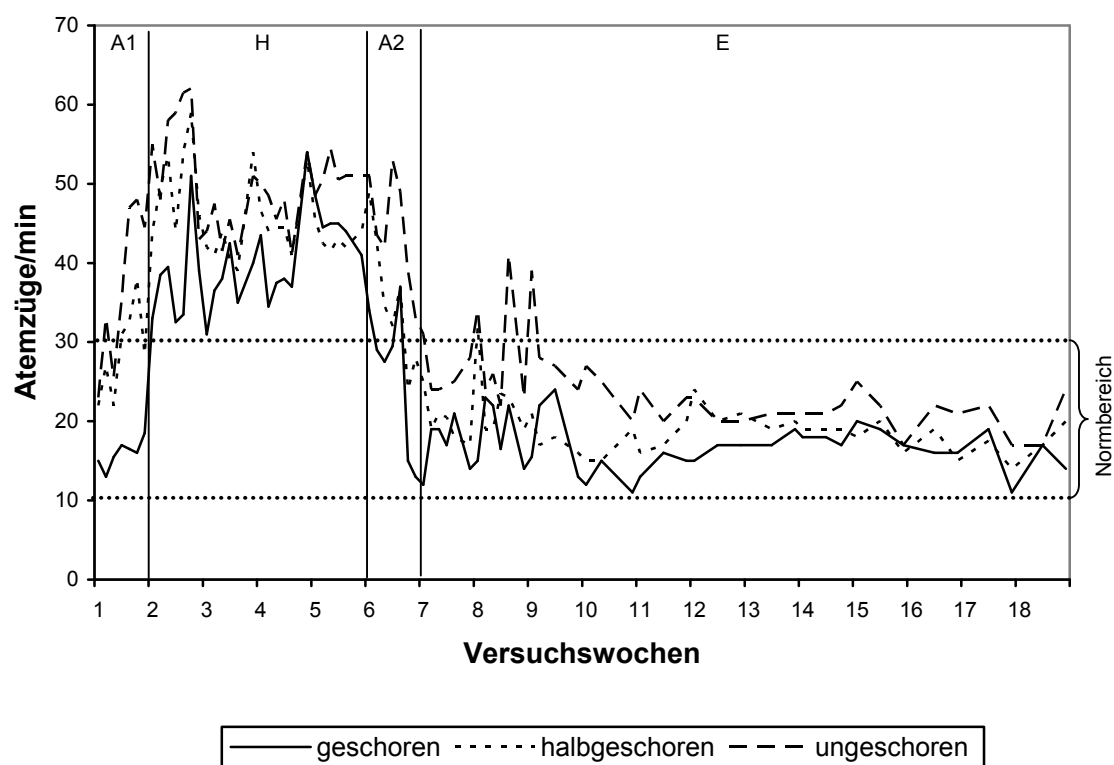


Abb. 9: Mittelwerte der Atemfrequenzen der Schurtypen im Versuchsverlauf (A: Adaptationsphase, H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase); Normbereich der Atemfrequenz (10-30 Atemzüge/min)

4.2.3 Rektaltemperatur

Die Gruppe hatte keinen signifikanten ($p>0,05$) Einfluss auf die Rektaltemperatur. In den Temperaturphasen unterschieden sich diese höchstsignifikant ($p<0,001$) voneinander, wobei die LSQ-Mittelwerte in der Hitzephase $38,3^{\circ}\text{C}$ und $37,4^{\circ}\text{C}$ in der Erholungsphase betrugen (Tab. 14). Der Schurtyp hatte einen höchstsignifikanten ($p<0,001$) Einfluss, wobei sich die Interaktion Phase x Schur als hochsignifikant ($p<0,01$) erwies.

Die LSQ-Mittelwerte und deren Standardfehler der Schurtypen zu den jeweiligen Temperaturphasen sind in Tab. 14 dargestellt. In der Hitze- und Erholungsphase konnten bei den geschorenen Tieren höchstsignifikant ($p<0,001$) niedrigere Rektaltemperaturen gemessen werden als bei den halb- und ungeschorenen Tieren. Die halbgeschorenen Hengste zeigten in der Erholungsphase signifikant ($p<0,05$) niedrigere Rektaltemperaturen als die ungeschorenen Tiere. Dieser Unterschied war in der Hitzephase nicht vorhanden, hier unterschieden sich die Rektaltemperaturen der halb- und ungeschorenen Tiere nicht signifikant ($p>0,05$) voneinander.

In Abb. 10 wird deutlich, dass es bei allen Schurtypen zu einem Anstieg der Rektaltemperatur in der Adaptationsphase 1 (A1) kam. Die geschorenen Tiere hatten einen langsameren Anstieg zu verzeichnen als die beiden anderen Schurtypen, wobei die ungeschorenen Tiere den steilsten Anstieg der Rektaltemperatur aufwiesen. Im Verlauf der Hitzephase kam es bei allen Tieren zu einem weiteren Anstieg der Rektaltemperatur. In Adaptationsphase 2 (A2) sanken die Rektaltemperaturen bei allen Schurtypen wieder auf die Ausgangswerte ab. Auch hier zeigten die geschorenen Tiere einen steileren Abfall als die beiden anderen Schurtypen, wobei auch hier bei den ungeschorenen Tieren die Rektaltemperatur langsamer abfiel als bei den beiden anderen Schurtypen. In Versuchswoche 8 kam es zu einer Erhöhung der Rektaltemperatur, bei allen Schurtypen.

Tab. 14: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Rektaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen (g: geschoren, h: halbgeshoren, u: ungeschoren)

Phase	Schurtyp	Rektaltemperatur		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzeperiode	alle Tiere	38,3	0,03	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>p<0,001</p> <p>n.s.</p> </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>p<0,001</p> </div> <div> <p>p<0,001</p> </div> </div>		
	g	38,0	0,04			
	h	38,5	0,06			
	u	38,4	0,04			
Erholungsphase	alle Tiere	37,4	0,02	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>p<0,001</p> <p>p<0,05</p> </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>p<0,001</p> </div> </div>		
	g	37,3	0,04			
	h	37,5	0,05			
	u	37,6	0,04			

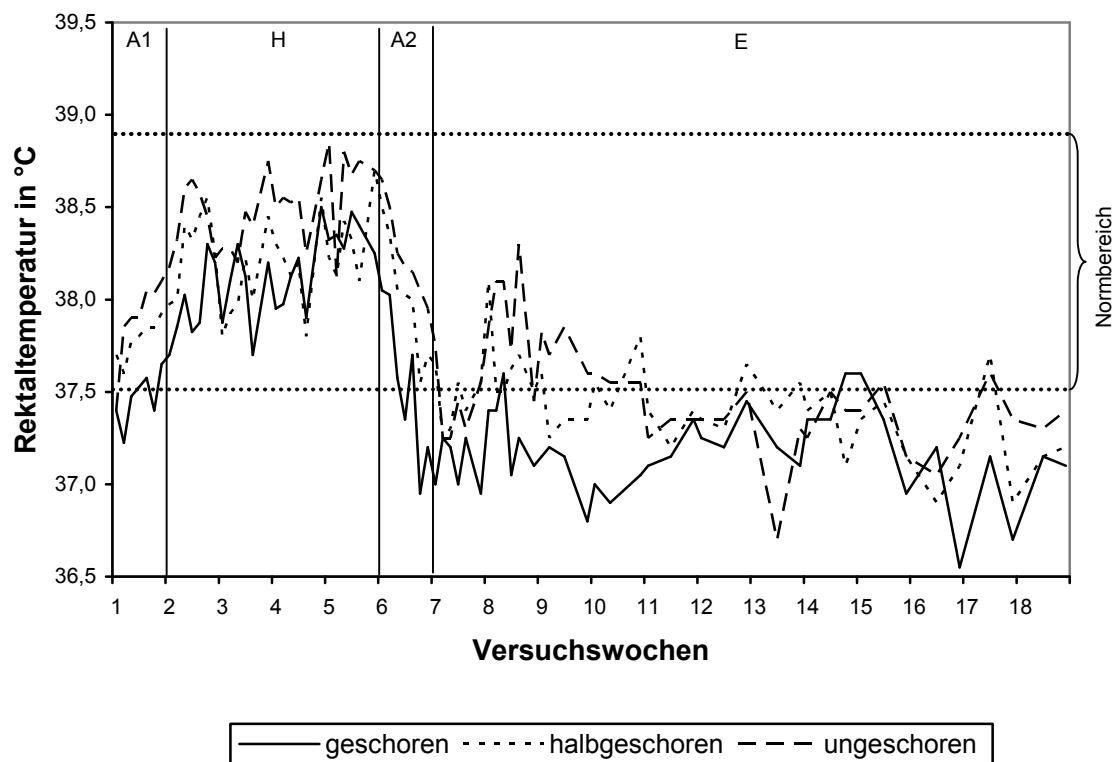


Abb. 10: Mittelwerte der Rektaltemperatur der Schurtypen im Versuchsverlauf (A: Adaptationsphase, H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase); Normbereich der Rektaltemperatur (37,5-38,9°C)

4.2.4 Korrelationen der physiologischen Parameter

Wie aus Tabelle 15 hervorgeht, besteht eine höchstsignifikante Korrelation zwischen der Atemfrequenz und der Rektaltemperatur in beiden Temperaturphasen. Zwischen der Atem- und Pulsfrequenz zeigt sich ebenfalls in beiden Temperaturphasen eine hochsignifikante Korrelation. Die Rektaltemperatur ist in der Hitze- und in der Erholungsphase höchstsignifikant mit der Pulsfrequenz korreliert.

Tab. 15: Korrelationen zwischen den physiologischen Parametern in Hitze- und Erholungsphase

	Hitze-Phase		Erholungsphase	
	Atemfrequenz	Rektaltemperatur	Atemfrequenz	Rektaltemperatur
Pulsfrequenz	0,21**	0,08	0,16**	0,30***
Atemfrequenz		0,51***		0,52***

p<0,01, * p<0,001

4.3 Reproduktionsparameter

4.3.1 Spermagewinnung

Die Spermagewinnung fand in Gruppe 1 an zwei geschorenen und zwei ungeschorenen Hengsten statt. Da der Einfluss des Schurtyps aufgrund der geringen Tierzahl nicht von den individuellen Schwankungen abzugrenzen ist, wird im Folgenden auf die Unterscheidung der beiden Schurtypen verzichtet.

Die individuellen Vorlieben der Hengste in Bezug auf die Temperatur und den Druck der künstlichen Vagina wurden in Phase 1 ausgetestet und über den gesamten Versuchszeitraum beibehalten.

4.3.1.1 Libido der Hengste

Die Libido A beschreibt das Verhalten der Hengste beim Aufsprung auf das Phantom auf einer Skala von 1 bis 5. Die durchschnittliche Libido A lag bei 1,5, wobei in Abb. 11a individuelle Unterschiede zu erkennen sind. Hengst 2 hatte mit einer Libido A von durchschnittlich 2,5 die schlechteste Libido A über den gesamten Versuchszeitraum, d.h. er brauchte im Durchschnitt länger als die anderen Hengste um auf das Phantom aufzuspringen. Die Libido A der übrigen Hengste lag zwischen 1,1 und 1,3.

Libido D beschreibt die Annahme der künstlichen Vagina durch die Hengste nach dem Aufsprung auf das Phantom in einer Skala von 1 bis 5. Die durchschnittliche Libido D lag bei 3,1. Auch bei Libido D sind in Abb. 11b individuelle Unterschiede zu erkennen. Auch hier zeigte Hengst 2 wieder die schlechteste Libido mit 4,0. Die beste Libido D hatte Hengst 5 mit 2,6.

Die Unterschiede der Libido der Hengste in den verschiedenen Temperaturphasen sind in Abb. 12 dargestellt. Hierbei zeigte sich, dass sich keine signifikanten Unterschiede für die Annahme des Lamastutenphantoms (Libido A) zwischen den zwei Temperaturphasen feststellen ließen. Die Libido D ist in der Hitze phase mit 3,5 signifikant schlechter als in der Erholungsphase mit 3,0 ($p < 0,05$). Die Hengste erschienen in der Hitze phase insgesamt unruhiger und unterbrachen den Deckakt häufiger als in der Erholungsphase.

Libido A korrelierte höchstsignifikant mit Libido D ($r = 0,50$; $p < 0,001$) im gesamten Versuchszeitraum. Bei Unterscheidung der beiden Temperaturphasen ist in der Hitze phase keine signifikante Korrelation der beiden festzustellen, während in der Erholungsphase eine höchstsignifikante Korrelation vorliegt ($r = 0,58$; $p < 0,001$).

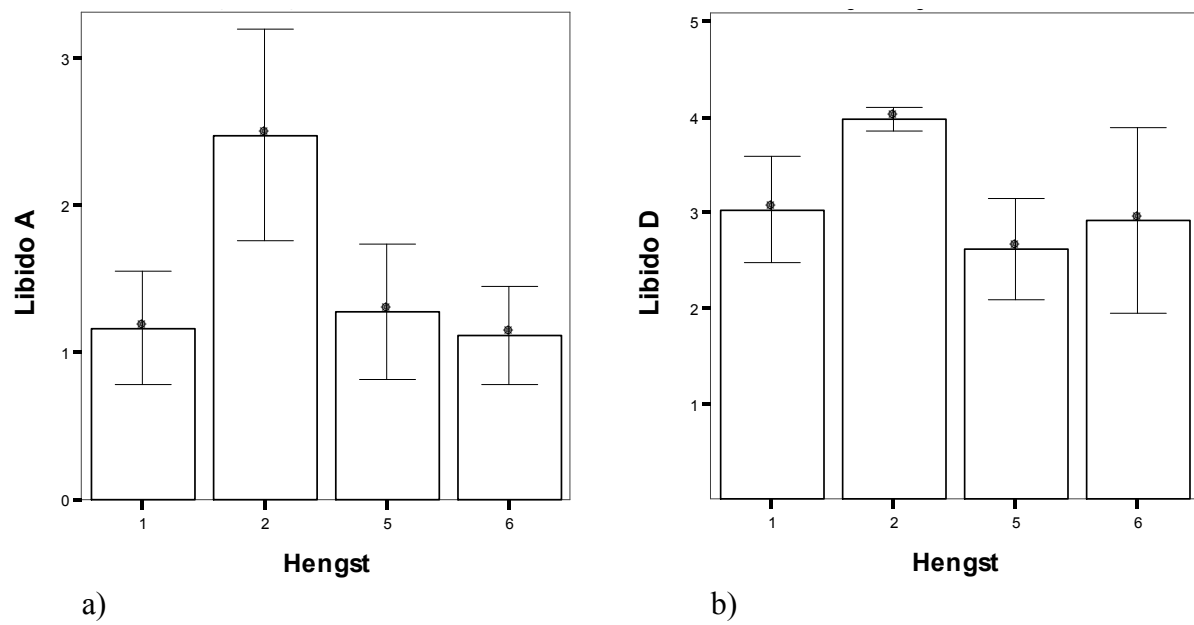


Abb. 11: Libido A (a) und D (b) ($\bar{x} \pm \text{SD}$) der Hengste im gesamten Versuchszeitraum

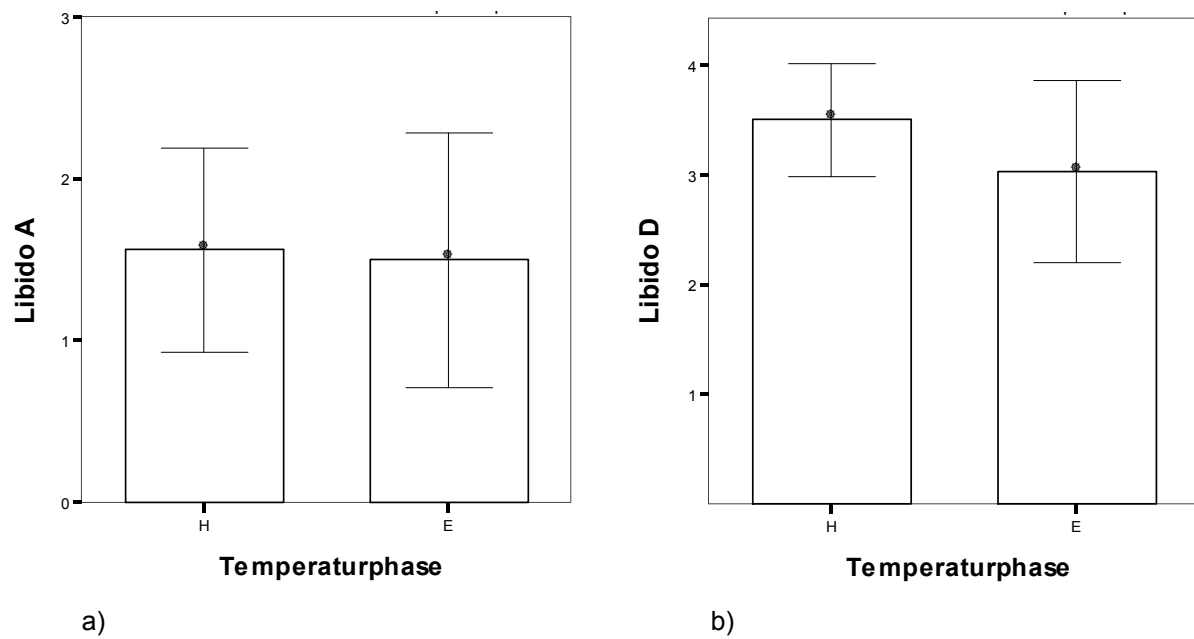


Abb. 12: Durchschnittliche Libido A (a) und D (b) ($\bar{x} \pm \text{SD}$) der Hengste in den zwei Temperaturphasen (H: Hitze phase; E: Erholungsphase)

4.3.2 Spermaparameter

4.3.2.1 Geruch, Farbe und Konsistenz

Der Geruch und die Farbe der Ejakulate waren bei allen Hengsten über den gesamten Versuchszeitraum vergleichbar. Es gab zudem keine Unterschiede des Geruchs und der Farbe in den beiden Temperaturphasen.

Bei der Konsistenz der Ejakulate konnten individuelle Schwankungen zwischen den Hengsten festgestellt werden. Die zähste Konsistenz im gesamten Versuchszeitraum zeigte Hengst 6 mit durchschnittlich 2,7. Das Ejakulat von Hengst 5 hingegen wies über den gesamten Versuchszeitraum die flüssigste Konsistenz mit durchschnittlich 1,3 auf (Abb. 13a)

Wie in Abb. 13b zu erkennen ist, konnten zwischen den beiden Temperaturphasen keine signifikanten Unterschiede der Ejakulatkonsistenz festgestellt werden.

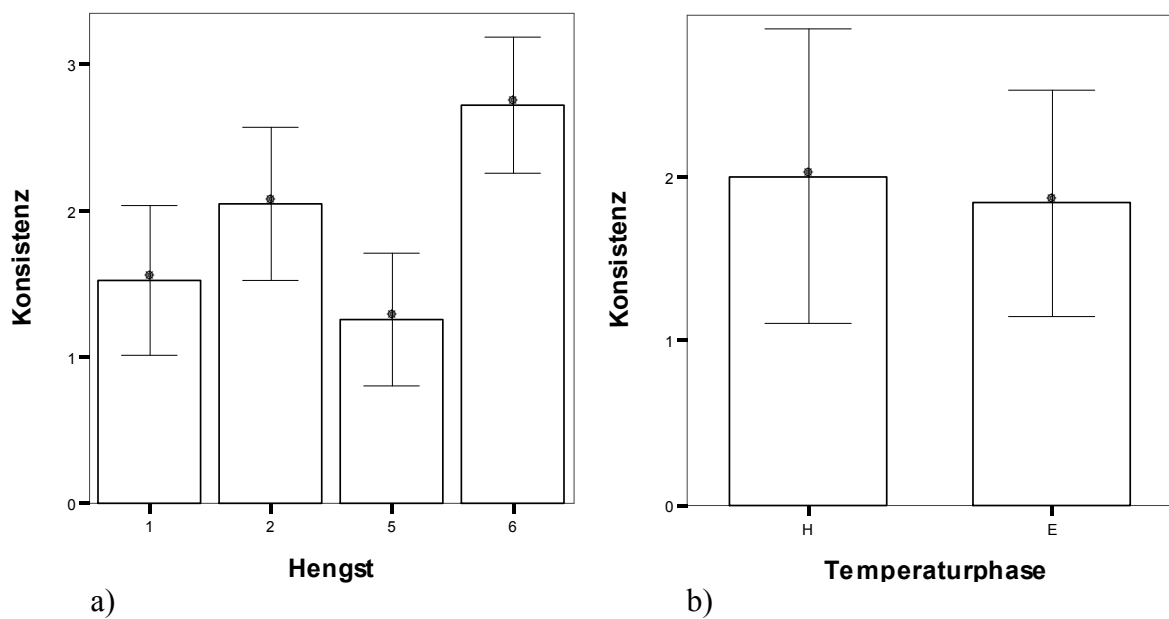


Abb. 13: (a) Ejakulatkonsistenz ($\bar{x} \pm SD$) (1: flüssig; 2: zähflüssig, 3: zäh) der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und (b) durchschnittliche Ejakulatkonsistenz in den zwei Temperaturphasen (H: Hitze, E: Erholung)

4.3.2.2 Ejakulatvolumen

Das Ejakulatvolumen lag im Mittel aller Hengste über den gesamten Versuchszeitraum bei 2,56 ml. Wie in Abb. 14a zu erkennen ist, gab es individuelle Unterschiede in den Ejakulatvolumina. Hengst 5 hatte das durchschnittlich größte Ejakulatvolumen mit 2,91 ml und Hengst 6 das durchschnittlich kleinste Ejakulatvolumen mit 1,81 ml.

Beim Vergleich der Ejakulatvolumina in den zwei Temperaturphasen lässt sich in der Hitzeperiode ein höchstsignifikant ($p < 0,001$) niedrigeres durchschnittliches Ejakulatvolumen mit 1,70 ml feststellen als in der Erholungsphase mit 2,86 ml (Abb. 14b).

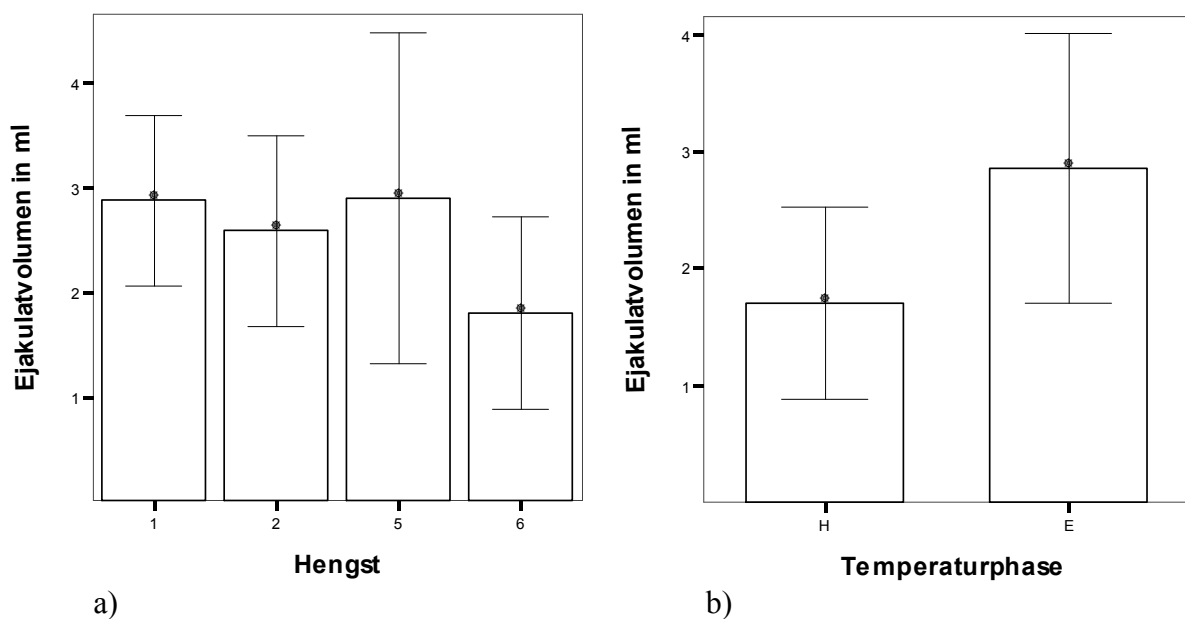


Abb. 14: (a) Durchschnittliches Ejakulatvolumen ($\bar{x} \pm SD$) der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und (b) durchschnittliches Ejakulatvolumen in den beiden Versuchsphasen (H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase)

4.3.2.3 pH-Wert

Der durchschnittliche pH-Wert der Ejakulate aller Lamahengste betrug 7,7. Es konnten individuelle Unterschiede der pH-Werte beobachtet werden. Die niedrigsten pH-Werte zeigte hierbei Hengst 5 mit durchschnittlich 7,6. Die Hengste 1 und 6 hatten im Durchschnitt die höchsten pH-Werte mit 7,8 (Abb. 15a).

Der durchschnittliche Ejakulat-pH-Wert blieb in den beiden Temperaturphasen konstant (Abb. 15b).

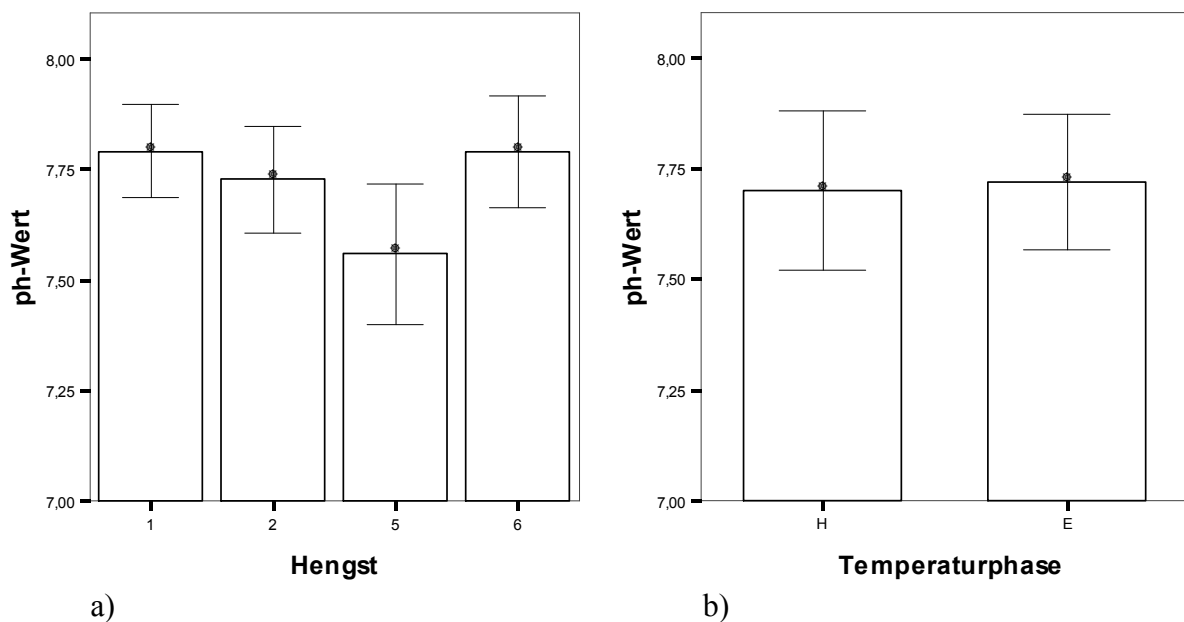


Abb. 15: (a) Durchschnittlicher pH-Wert ($\bar{x} \pm SD$) der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und (b) in den zwei Temperaturphasen (H: Hitze, E: Erholungsphase)

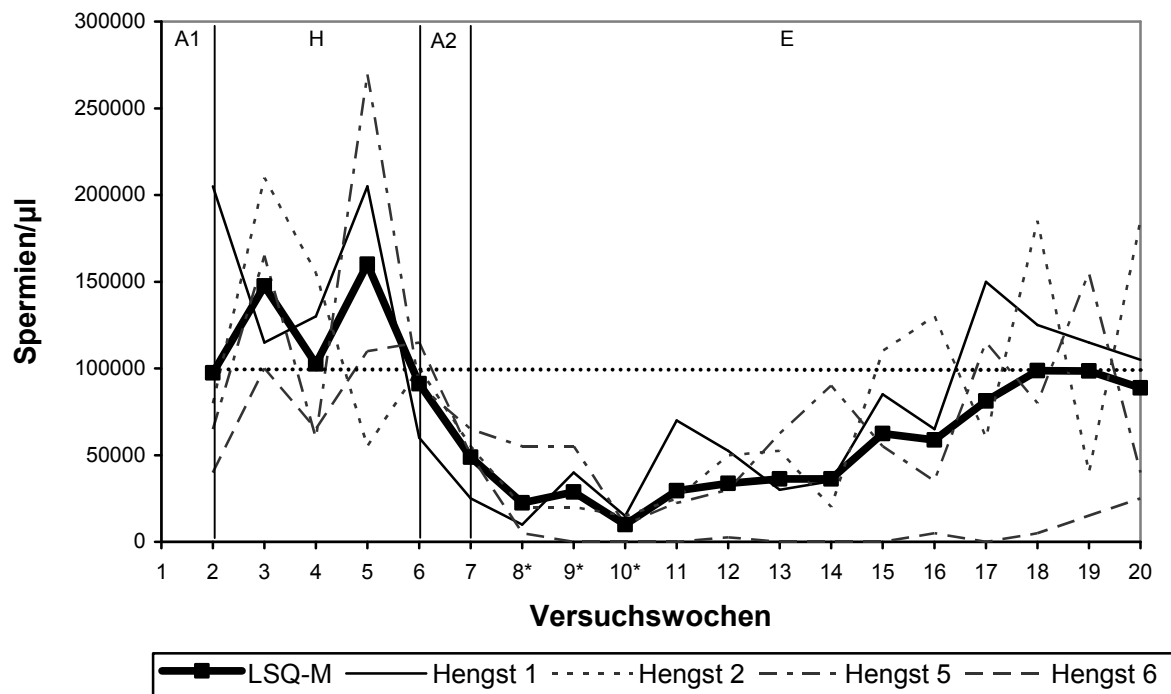
4.3.2.4 Spermiedichte

Die durchschnittliche Spermienkonzentration aller Hengste betrug 69.967 Spermien/ μ l. Dabei kam es jedoch zwischen den Hengsten zu erheblichen individuellen Unterschieden. Die durchschnittlich niedrigste Spermiedichte wies Hengst 6 mit 29.073 Spermien/ μ l auf. Die übrigen Hengste lagen mit ihren durchschnittlichen Spermienkonzentrationen relativ eng beieinander (Hengst 1: 86.184 Spermien/ μ l, Hengst 2: 82.500 Spermien/ μ l, Hengst 5: 80.000 Spermien/ μ l).

Die höchste absolute Spermienkonzentration erreichte Hengst 5 mit 270000 Spermien/ μ l in Versuchswoche 5, wohingegen die niedrigsten Spermienkonzentrationen bei Hengst 6

beobachtet werden konnten, der in Versuchswoche 9, 10, 11, 13, 14 und 17 keine Spermien im Ejakulat aufwies (Abb. 16).

Wie in der Verlaufskurve in Abb. 16 deutlich wird, kam es in der Hitzeperiode zweimal (Versuchswoche 3 und 5) zu einem Anstieg der LSQ-Mittelwerte der Spermienkonzentration über den Ausgangswert (Versuchswoche 2), während im weiteren Verlauf bis Versuchswoche 10 die Spermienkonzentration deutlich abnahm. Ab Versuchswoche 11 konnte wieder ein Anstieg der Spermiedichte beobachtet werden, bis in Versuchswoche 18 die durchschnittlichen Ausgangswerte wieder erreicht wurden. Signifikant waren diese Abweichungen vom Ausgangswert in der 8., 9. und 10. Versuchswoche.



signifikante Unterschiede der LSQ-M zu Ausgangswert (gepunktete Linie): * $p < 0,05$

Abb. 16: Spermiedichte im Versuchsverlauf der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase)

Die Hengste reagierten bezüglich ihrer Spermiedichte zum Teil sehr unterschiedlich auf die Hitzebelastung. In Abb. 16 sind die Spermiedichten der einzelnen Hengste im Versuchsverlauf dargestellt. Es ist ein deutlicher Abfall der Dichten nach der Hitzeperiode zu erkennen, wobei Hengst 1 seinen niedrigsten Wert in der Versuchswoche 8 zeigte, Hengst 6 in Versuchswoche 9 und die Hengste 5 und 2 in der 10. Woche. Während die Hengste 1, 2 und 5 nach dem niedrigsten Wert im weiteren Versuchsverlauf wieder ihre Ausgangswerte

erreichten, konnte bei Hengst 6 eine Stagnation der Spermienproduktion beobachtet werden. Erst ab Versuchswoche 18 stieg die Spermiedichte langsam wieder an. Bei Versuchende (Versuchswoche 20) hatte Hengst 6 seinen Ausgangswert nicht wieder erreicht.

4.3.2.5 Vorwärtsbeweglichkeit

Die durchschnittliche Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien im gesamten Versuchszeitraum lag bei 40,34%. Hengst 1 zeigte mit einer durchschnittlichen Vorwärtsbeweglichkeit von 54,44% die besten Ergebnisse. Die schlechtesten Werte mit durchschnittlich 10,56% wurden bei Hengst 6 nachgewiesen.

Der LSQ-Mittelwert der Spermienvorwärtsbeweglichkeit sank nach einer Woche Hitzebelastung (Versuchswoche 3) bis Versuchswoche 10 ab. Danach kam es wieder zu einem Anstieg der Vorwärtsbeweglichkeit bis in Versuchswoche 18 der Ausgangswert nahezu wieder erreicht wurde (Abb. 17). Die Abweichungen vom Ausgangswert waren in den Versuchswochen 8-13 signifikant.

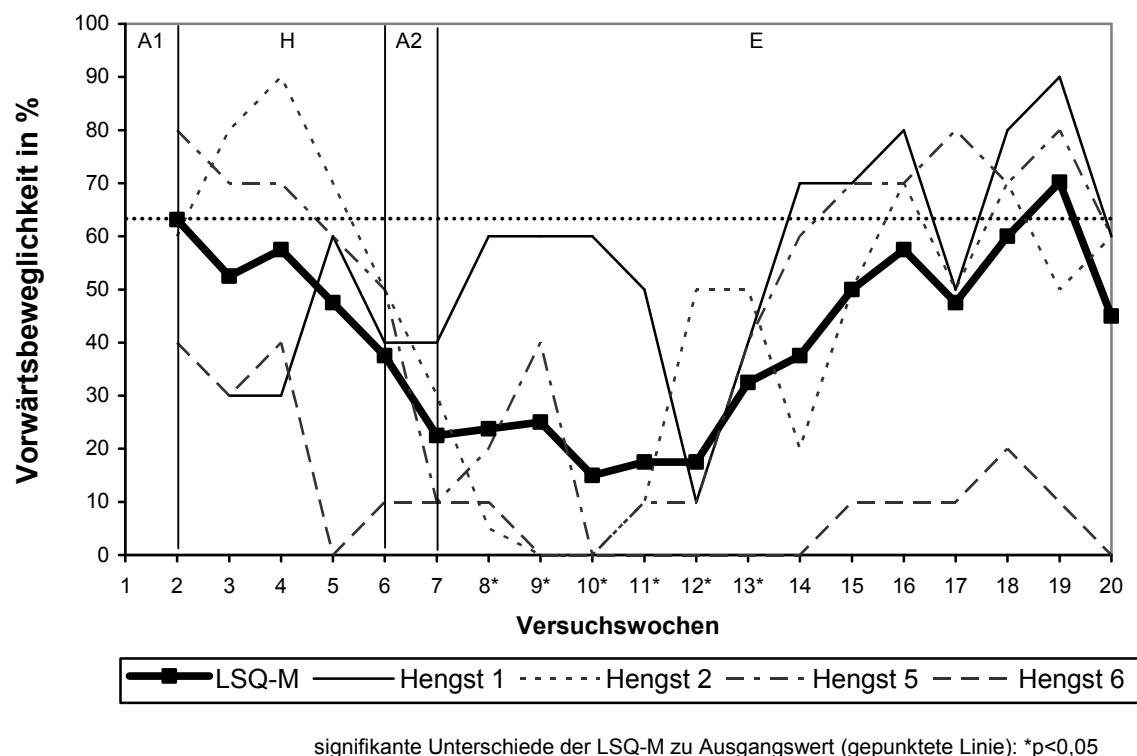


Abb. 17: Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzebelastung, E: Erholungsphase)

Wie Abb. 17 zeigt, verhielt sich die Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien bei den einzelnen Hengsten im Versuchsverlauf sehr unterschiedlich. Während bei drei der Hengste (2, 5, 6) zu mindestens einem Zeitpunkt keine Vorwärtsbeweglichkeit mehr festzustellen war, wurde von Hengst 1 der niedrigste Wert mit 10% Vorwärtsbeweglichkeit in der 12. Versuchswoche erreicht. Bei Hengst 2 wurden die niedrigsten Werte bereits in Versuchswoche 9 und 10 ermittelt, bei Hengst 5 in Woche 9. Nach Erreichen der niedrigsten Werte stieg bei diesen Hengsten die Vorwärtsbeweglichkeit im Versuchsverlauf wieder bis auf den Ausgangswert an. Bei Hengst 6 war dagegen schon in Versuchswoche 5 keine Vorwärtsbeweglichkeit mehr erkennbar. Auch im weiteren Verlauf zeigte Hengst 6 nur sehr geringe Werte zwischen 0 und 20%. Bis zum Ende des Versuches (Versuchswoche 20) erreichte er seinen Ausgangswert nicht wieder.

4.3.2.6 Anteil morphologisch abnormer Spermien

Der durchschnittliche Prozentanteil abnormer Spermien lag im gesamten Versuchszeitraum bei 35,2 %. Es konnten deutliche individuelle Unterschiede festgestellt werden, wobei Hengst 1 mit 22,3% die geringste Anzahl und Hengst 2 mit durchschnittlich 51,8% die höchste Anzahl morphologisch abnormer Spermien aufwies. Die beiden übrigen Hengste lagen mit 32,4% (Hengst 5) und 33,7% (Hengst 6) zwischen diesen beiden Werten.

Im Versuchsverlauf (Abb. 18) konnte eine tendenzielle Zunahme der LSQ-Mittelwerte der Anzahl morphologisch abnormer Spermien ab Versuchswoche 5 festgestellt werden. Im Versuchszeitraum 9. bis 13. Versuchswoche wurde ein Plateau erreicht und anschließend nahm die Anzahl morphologisch abnormer Spermien ab, bis in Woche 15 wieder der Ausgangswert erreicht wurde (nicht signifikant).

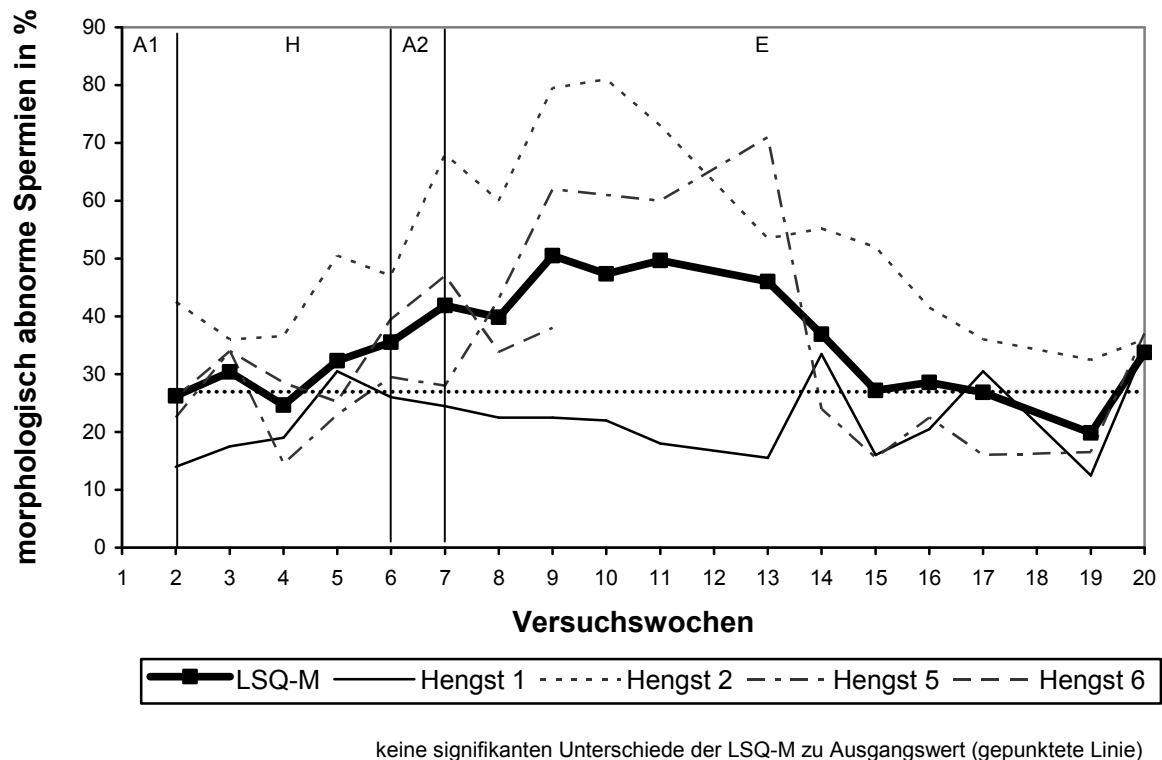


Abb. 18: Morphologisch abnorme Spermien in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase)

Der Verlauf des Anteils morphologisch abnormer Spermien bei den einzelnen Hengsten ist in Abb. 18 dargestellt. Die Hengste reagierten diesbezüglich sehr unterschiedlich auf die Hitzebelastung. Bei Hengst 2 kam es ab Versuchswoche 5 zu einem massiven Anstieg der morphologisch abnormen Spermien, bis in der 10. Versuchswoche 81% der Spermien morphologische Abnormitäten zeigten. Im weiteren Verlauf sanken die Werte wieder, bis in Woche 17 der Ausgangswert wieder erreicht war. Hengst 5 zeigte einen Anstieg der Werte nach der Hitzeperiode mit dem höchsten Wert mit 71% in Versuchswoche 13, anschließend einen steilen Abfall, so dass in Woche 14 der Ausgangswert wieder erreicht wurde. Im Gegensatz zu diesen beiden Hengsten stellten sich die Anzahl morphologisch abnormer Spermien bei Hengst 1 während des gesamten Versuchsverlaufes relativ konstant dar, wobei die beiden höchsten Werte in Versuchswoche 14 (33%) und 17 (31%) auftraten. Hengst 6 zeigte einen leichten Anstieg der morphologisch abnormen Spermien nach der Hitzeperiode. Bei Hengst 6 konnte ab der 9. Versuchswoche (bis Versuchswoche 20) aufgrund einer ungenügenden Anzahl an Spermien der Anteil an morphologisch abnormen Spermien nicht mehr ausgezählt werden.

4.3.2.7 Morphologische Veränderungen der Spermien

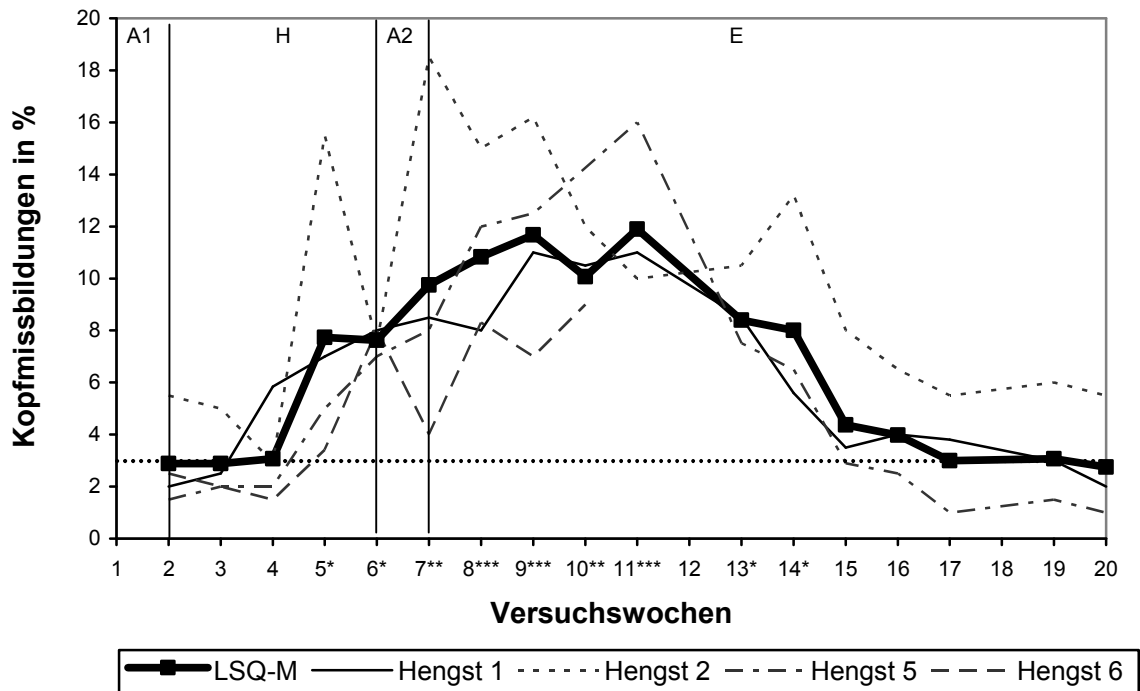
In Tab. 16 sind die morphologisch abnormen Spermien sortiert nach ihrer Häufigkeit dargestellt. Die am häufigsten auftretenden Missbildungen im gesamten Versuchsdurchschnitt waren die Schwanzanomalien, gefolgt von den Kopfmissbildungen und den „unreifen“ Spermien mit Plasmotropfen. Lose Köpfe und lose Schwänze traten erwartungsgemäß in ähnlichen Prozentanteilen auf. Die geringsten Anteile zeigten die Kopfbasissmissbildungen, Spermien mit zwei Köpfen und Spermien mit Doppelschwänzen.

Tab. 16: Im gesamten Versuchsverlauf beobachtete morphologisch abnorme Veränderungen der Spermien ($\bar{x} \pm \text{SD}$) in %, sortiert nach der Häufigkeit ihres Auftretens

Morphologische Veränderung	$\bar{x} \pm \text{SD}$
Schwanzanomalien	13,0 \pm 9,6
Kopfmissbildungen	6,7 \pm 4,4
Plasmotropfen	6,5 \pm 7,1
Lose Köpfe	3,8 \pm 3,1
Lose Schwänze	4,2 \pm 3,0
Kopfbasissmissbildungen	1,0 \pm 1,1
Doppelkopf	0,4 \pm 0,4
Doppelschwanz	0,0 \pm 0,1

In Abb. 19 - Abb. 23 sind die LSQ-Mittelwerte der verschiedenen morphologischen Anomalien im Versuchsverlauf mit den jeweiligen individuellen Schwankungen dargestellt.

Die Spermien mit Kopfmissbildungen zeigten im Versuchsverlauf die geringsten individuellen Schwankungen. Der durchschnittliche Ausgangswert lag bei 2,88%. In Versuchswoche 5 kam es zu einem signifikanten Anstieg der Kopfmissbildungen mit einem durchschnittlichen Maximalwert in Versuchswoche 9. Hengst 2 zeigte seinen Maximalwert schon in Versuchswoche 7 (18,5%), Hengst 1 in Woche 9 und 11 (11%) und Hengst 5 in Woche 11 (16%). Nach Erreichen der Höchstwerte sanken die Kopfmissbildungen ab und erreichten in Versuchswoche 17 wieder die Ausgangswerte (Abb. 19).



signifikante Unterschiede der LSQ-M zu Ausgangswert (gepunktete Linie): *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001

Abb. 19: Spermien mit Kopfmisbildungen in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzephase, E: Erholungsphase)

Bei den Schwanzanomalien (Abb. 20) kam es nach der Hitzephase (Versuchswoche 6) zu einem kontinuierlichen Anstieg (nicht signifikant), wobei der Ausgangswert von 6,5% überschritten wurde. Das durchschnittliche Maximum an Schwanzanomalien zeigte sich in Versuchswoche 11 mit $24,8 \pm 21,2\%$. In Abb. 20 ist weiter zu erkennen, dass die Schwanzanomalien der Hengste 2 und 5 dem beschriebenen Kurvenverlauf folgen, mit den Spitzenwerten 44% (Hengst 2) und 29% (Hengst 5) in Versuchswoche 11. Hengst 1 hingegen zeigte schon zu Versuchsbeginn einen sehr niedrigen Anteil an Schwanzanomalien in seinem Ejakulat, der nach der Hitzephase nicht weiter anstieg. Erst in Versuchswoche 14 kam es zu einer deutlichen Erhöhung. Das Niveau blieb bis Versuchende bestehen.

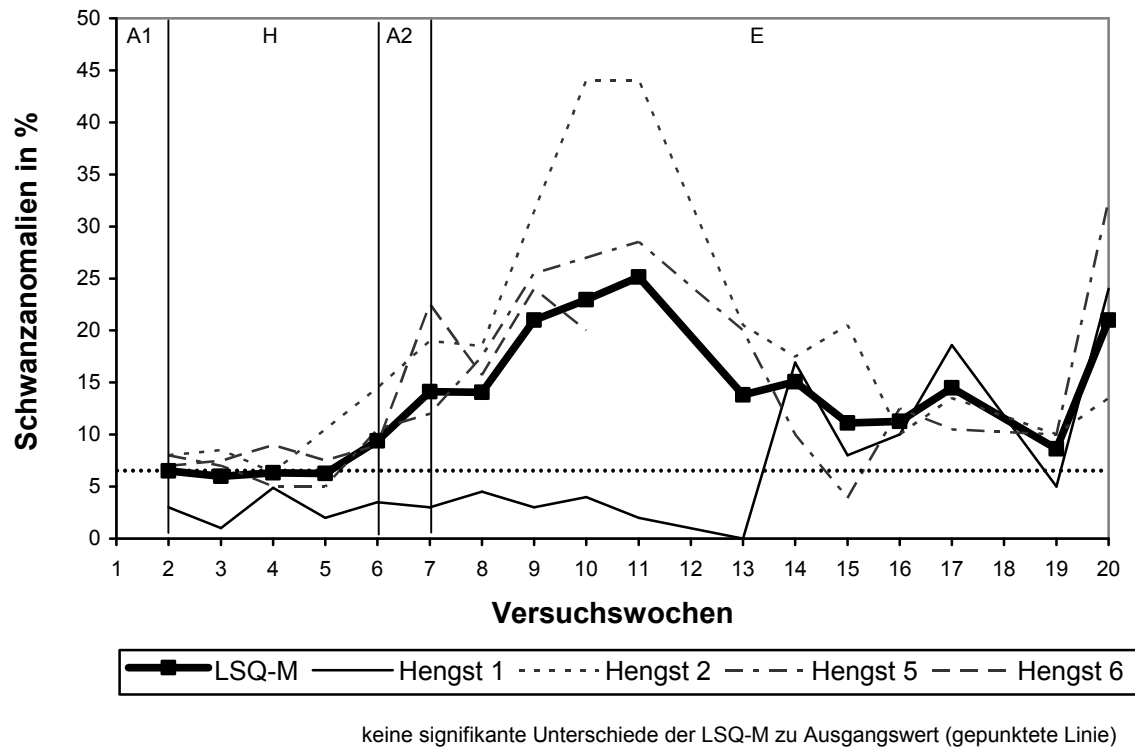


Abb. 20: Spermien mit abnormem Schwanz in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzephase, E: Erholungsphase)

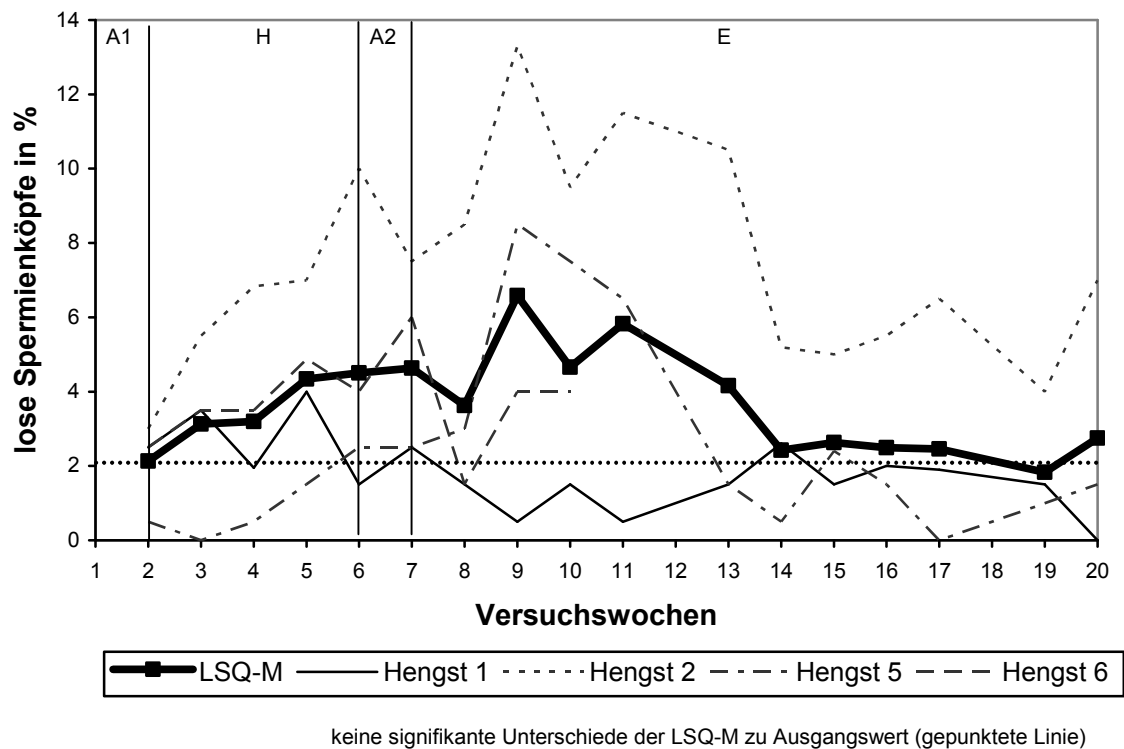


Abb. 21: Lose Spermienköpfe in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzephase, E: Erholungsphase)

Aus Abbildung 21 geht hervor, dass es bei den losen Köpfen nur zu einem tendenziellen, leichten Anstieg des LSQ-Mittelwertes von 2,13% zu Versuchbeginn auf 6,58% in der 9. Versuchswoche kam. Im Anschluss folgte ein leichtes Absinken, so dass in Versuchswoche 14 der Ausgangswert wieder erreicht war. Auch bei diesem Merkmal ist zu erkennen, dass Hengst 2 im gesamten Versuchsverlauf deutlich mehr lose Köpfe (Maximum 13,3% in Versuchswoche 9) aufwies als die übrigen Hengste (Maximum Hengst 5: 8,5% in Versuchswoche 9). Hengst 1 zeigte bei diesem Merkmal keinen Anstieg nach der Hitzeperiode und zeigte im gesamten Versuchszeitraum nur Schwankungen zwischen 0 und 4% lose Köpfe.

Der Verlauf des prozentualen Anteils an losen Schwänzen zeigte ebenso wie die losen Köpfe einen ähnlichen tendenziellen Anstieg nach der Hitzeperiode mit einem durchschnittlichen Maximum in der 9. Versuchswoche (Abb. 22). Auch bei diesem Merkmal zeigte Hengst 2 den steilsten Verlauf mit dem höchsten Wert von 15,2 % in der 9. Versuchswoche. Hengst 1 zeigte auch hier wieder die niedrigsten Werte mit einem deutlich niedrigeren Maximalwert von 6,5% in der 8. Versuchswoche.

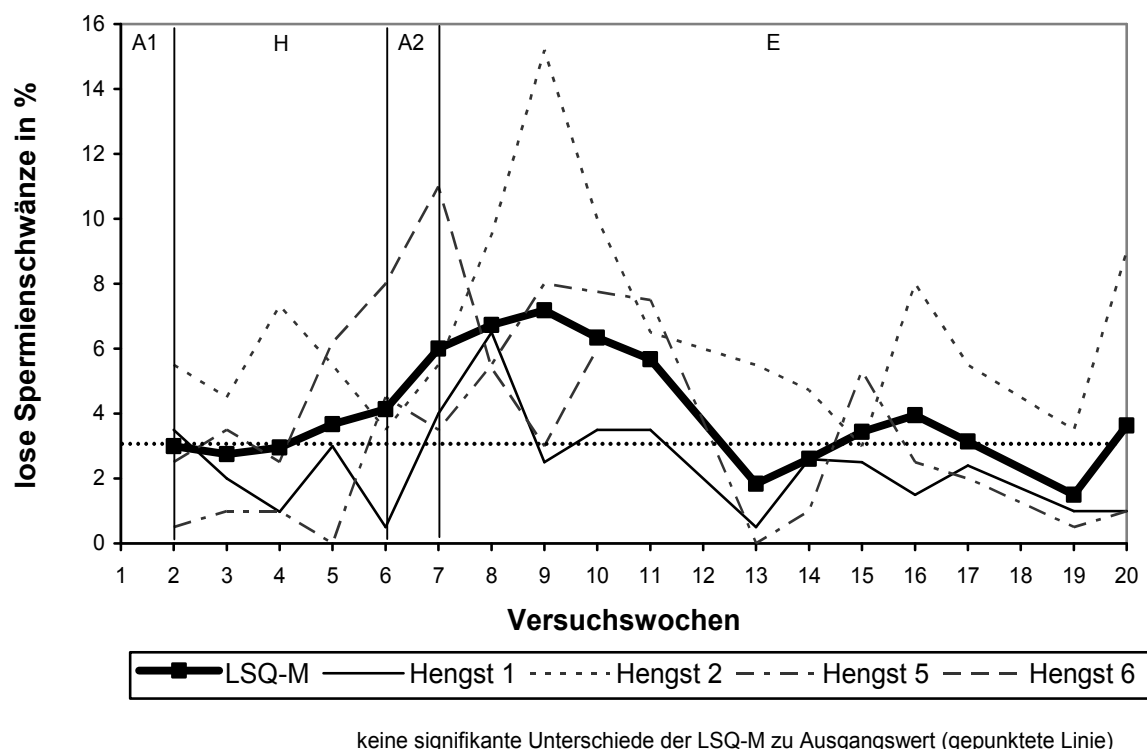


Abb. 22: Lose Spermenschwänze in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzeperiode, E: Erholungsphase)

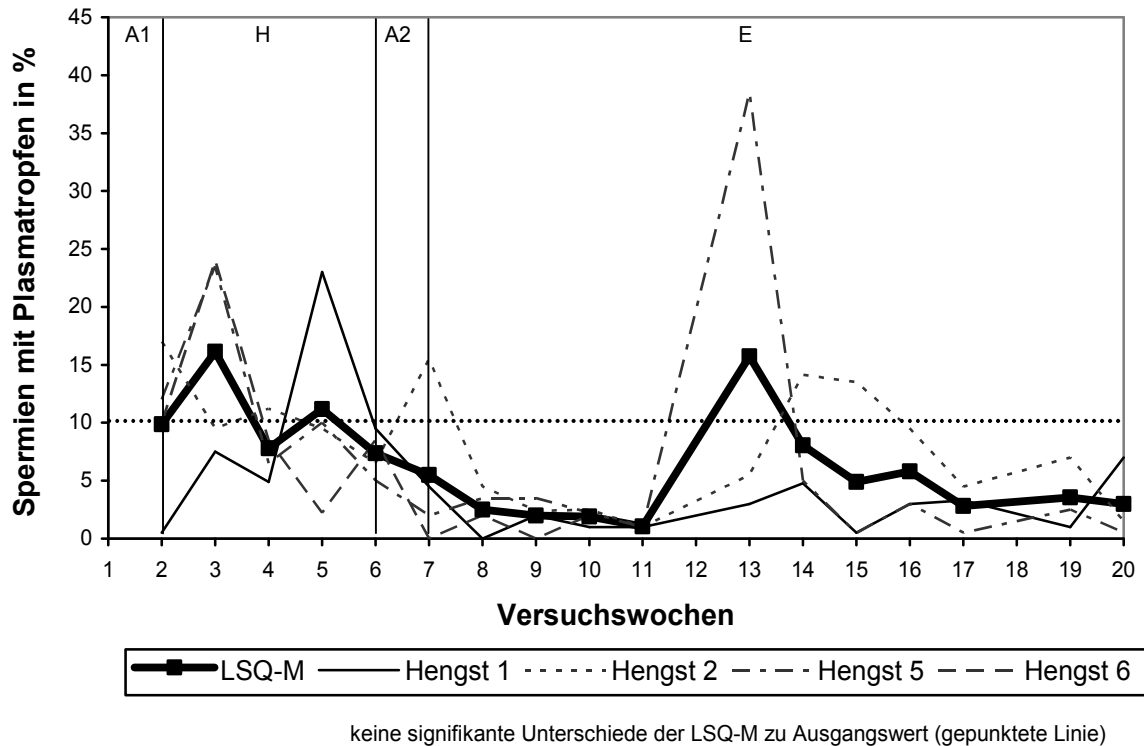


Abb. 23: Spermien mit Plasmatrophen in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert (A: Adaptationsphase, H: Hitzephase, E: Erholungsphase)

Die Spermien mit Plasmatrophen zeigten tendenziell einen anderen Verlauf als die übrigen Spermienanomalien (Abb. 23). In der Hitzephase konnte der höchste durchschnittliche Wert von 16,13% in Versuchswoche 3 beobachtet werden. Nach der Hitzephase kam es zu einer Abnahme der Zahl an Spermien mit Plasmatrophen mit einem durchschnittlichen Minimum in Woche 11 von 1,06%. Bis zu Versuchende blieben die Werte nach einem kurzen Anstieg unter denen in der Hitzephase (nicht signifikant).

Die Merkmale Doppelkopf und -schwanz lagen im Versuchsverlauf durchschnittlich bei $0,4 \pm 0,4\%$ bzw. $0,0 \pm 0,1\%$ und zeigten keine Tendenzen im Versuchsverlauf.

4.3.3 Histologisches Erscheinungsbild der Hoden

Die im histologischen Bild sichtbare Stadienverteilung der Kontrollgruppe (n=6) kann Abbildung 24 (1. Spalte) entnommen werden. Die am häufigsten zu beobachtenden Stadien waren Stadium II/III mit 26,7% und Stadium VI mit 19,9%.

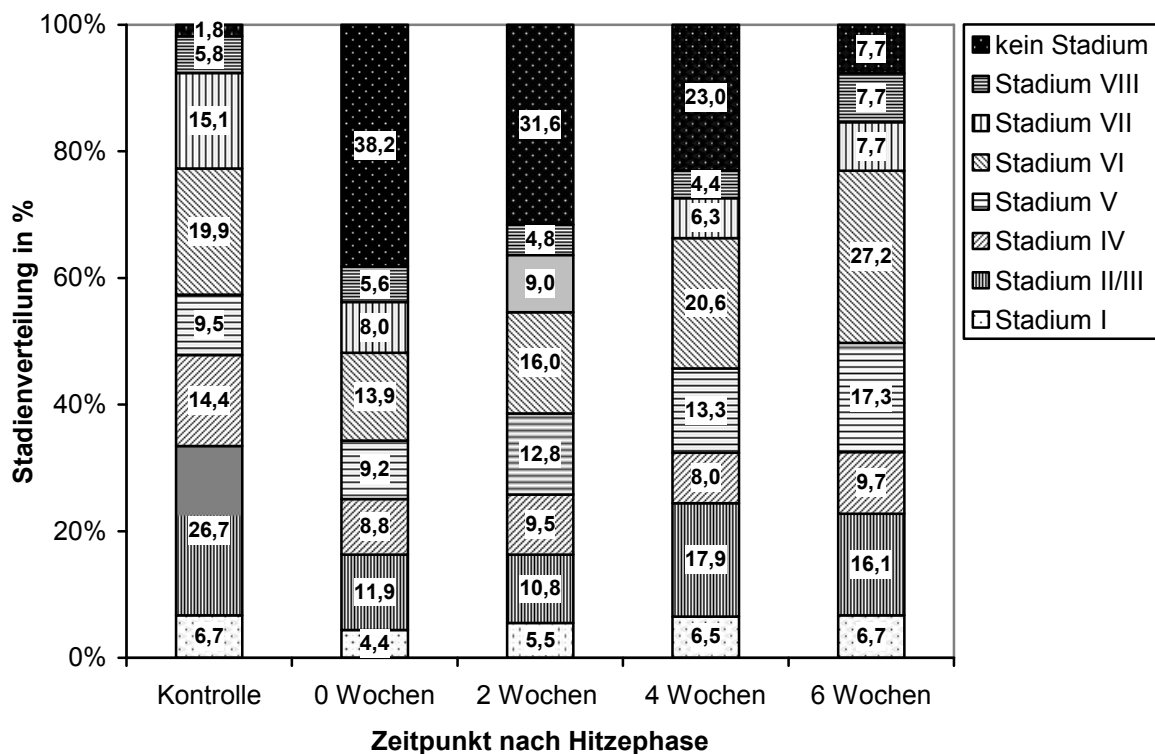


Abb. 24: Stadienverteilung in % der Kastrationsgruppen (Kontrolle, 0, 2, 4 und 6 Wochen nach der Hitze phase)

In Abb. 24 ist die Stadienverteilung der Kontrollgruppe und der Kastrationsgruppen dargestellt. Es waren in jedem Hoden zu jedem Kastrationszeitpunkt immer alle Stadien vorhanden, nur die Häufigkeit ihrer Verteilung änderte sich im Versuchsverlauf (Abb. 24). Im Chi-Quadrat-Test unterschieden sich alle 4 Probenzeitpunkte höchstsignifikant ($p < 0,001$) von der Kontrolle.

Es ist in Abb. 24 zu erkennen, dass direkt nach der Hitze phase ein deutlicher Anstieg der Tubuli, die keinem Stadium zugeordnet werden können, zu verzeichnen war (siehe Anhang Abb. 50 und Abb. 51). Der Anteil der nicht zuordenbaren Stadien verringerte sich im weiteren Versuchsverlauf wieder. Somit konnte gezeigt werden, dass auch 6 Wochen nach der Hitze phase die Ausgangswerte dieses Merkmals nicht wieder erreicht wurden. Die individuellen Unterschiede waren in diesem Merkmal sehr hoch. Zum Beispiel lagen die

Werte an nicht zu bestimmenden Stadien im Hodenquerschnitt in der Gruppe direkt nach der Hitzephase zwischen 89% (Hengst 12) und 10% (Hengst 11).

Stadium I verringerte sich leicht direkt nach der Hitzephase, nahm im weiteren Versuchsverlauf wieder zu und hatte 6 Wochen nach der Hitzephase die Ausgangswerte wieder erreicht. Das Stadium II/III trat in der Kontrollgruppe am häufigsten auf. Direkt nach der Hitzephase verringerte sich die Häufigkeit und lag auch nach 6 Wochen deutlich unter den Kontrollwerten.

Das Stadium IV stellt den „Sperm-release“ dar und ist auch direkt nach der Hitzephase vorhanden, wenn auch in geringerer Häufigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe. Auch hier ist auffällig, dass 6 Wochen nach der Hitzephase die Ausgangswerte noch nicht wieder erreicht waren.

Stadium V veränderte sich kaum direkt nach der Hitzephase im Vergleich zur Kontrollgruppe stieg dann aber im weiteren Versuchsverlauf an, so dass 6 Wochen nach der Hitzephase deutlich höhere Werte erreicht wurden als in der Kontrollgruppe.

Stadium VI sank zwar nach der Hitzephase ab, stieg aber im weiteren Versuchsverlauf an und erreichte ebenso wie Stadium V nach 6 Wochen höhere Werte als die Kontrollgruppe.

Bei Stadium VII ist nach der Hitzephase eine Abnahme um etwa die Hälfte zu beobachten. Dieses Stadium erreichte auch nach 6 Wochen nicht wieder die Werte der Kontrollgruppe. Stadium VIII zeigte im Versuchsverlauf nur leichte Schwankungen.

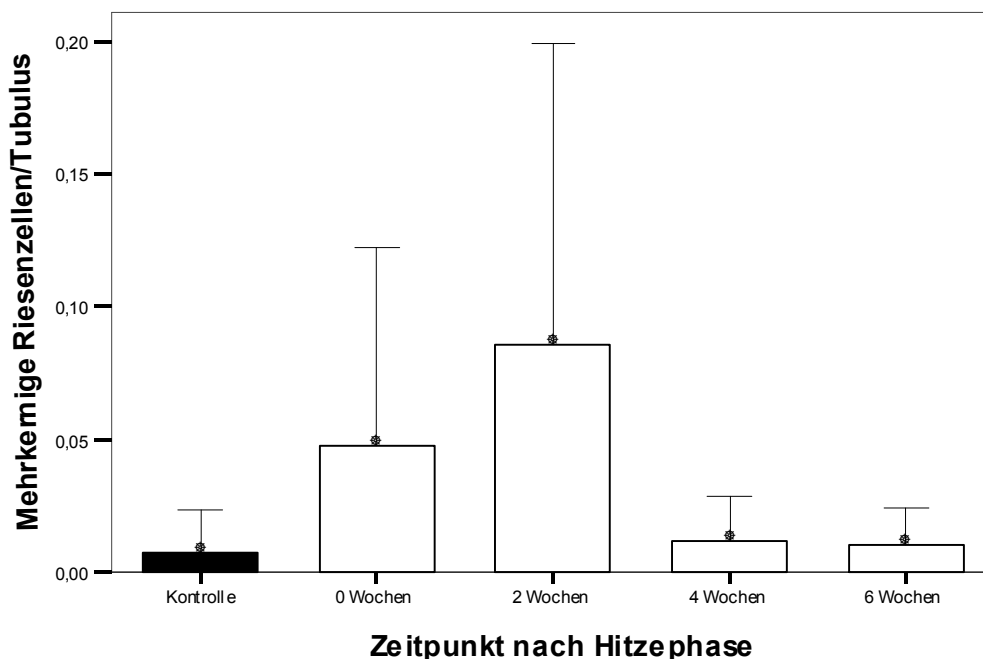


Abb. 25: Mehrkernige Riesenzellen/Tubulusquerschnitt ($\bar{x} \pm SD$) zu den verschiedenen Kastrationszeitpunkten

In Abb. 25 ist das Auftreten von mehrkernigen Riesenzellen (Anhang Abb. 48) zu den verschiedenen Kastrationszeitpunkten dargestellt. 0 und 2 Wochen nach der Hitze phase ist ein vermehrtes Vorkommen dieses Zelltyps zu beobachten. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

4.3.4.1 Proliferation der Spermatogonien in der Kontrollgruppe

Die Proliferation der Spermatogonien wurde immunhistochemisch mit Ki-67 dargestellt (Anhang Abb. 45, 46, 47).

Bei den Tieren zeigte sich die Verteilung der Tubuli mit unterschiedlich vielen Ki-67 positiven Spermatogonien, wie in Abb. 26 dargestellt. Es gab in der Kontrollgruppe große individuelle Schwankungen in diesem Merkmal, wobei sich vor allem K1 durch mehr Tubuli mit wenigen Ki-67 positiven Spermatogonien und weniger Tubuli mit vielen Ki-67 positiven Spermatogonien auszeichnet. Auch zwischen rechtem und linkem Hoden des gleichen Tieres gab es zum Teil Unterschiede (Abb. 26).

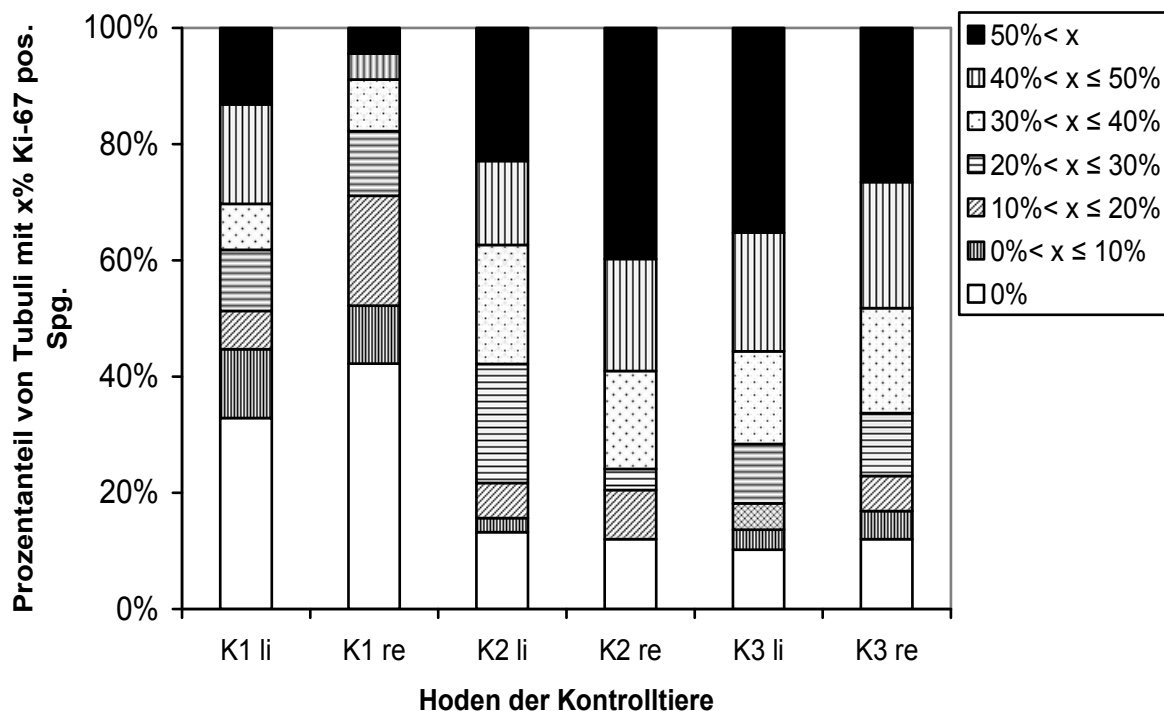


Abb. 26: Prozentanteil an Hodentubuli mit Ki-67 positiven Spermatogonien in % je Hoden der Kontrolltiere eingeteilt in 7 Gruppen je nach Prozentsatz der Ki-67 positiven Spermatogonien/Tubulus (Hengst: K1, K2, K3; Hoden: li=links, re=rechts)

Die Verteilung der Ki-67 positiven Spermatogonien in den einzelnen Stadien des Hodenepithels kann Tabelle 17 entnommen werden. Stadium IV („Sperm-release“) wies die meisten Ki-67 positiven Spermatogonien auf (38,5%), wohingegen das direkt anschließende Stadium V mit 16,5% die niedrigsten Werte zeigte (Anhang Abb.52, 53).

Tab. 17: Ki-67 positive Spermatogonien/Stadium in % (Kontrollgruppe)

Stadium	I	II/III	IV	V	VI	VII	VIII	kein
Ki-67 positive Spermatogonien je Tubulus in % $\bar{x} \pm SD$	31,53 $\pm 15,30$	31,74 $\pm 18,63$	38,52 $\pm 20,07$	16,48 $\pm 14,95$	26,44 $\pm 16,17$	33,83 $\pm 14,46$	24,89 $\pm 12,84$	22,57 $\pm 25,13$

4.3.4.2 Proliferation der Spermatogonien in der Versuchsgruppe

In Abb. 27 ist die Verteilung der Tubuli mit x% Ki-67 pos. Spermatogonien der Kontrollgruppe und der verschiedenen Kastrationszeitpunkte im Versuchsverlauf dargestellt. Deutlich wird, dass es direkt nach der Hitzephase zu einer Reduktion der Tubuli mit vielen Ki-67 positiven Spermatogonien und einem vermehrten Auftreten von Tubuli mit 0% und wenigen Ki-67 positiven Spermatogonien im Vergleich zur Kontrollgruppe kam ($p < 0,001$) (Anhang Abb. 52, 53). Im weiteren Versuchsverlauf sank die Prozentzahl von Tubuli mit 0% und wenigen Ki-67 positiven Spermatogonien wieder ab und die Zahl an Tubuli mit vielen Ki-67 positiven Spermatogonien stieg an. 6 Wochen nach der Hitzephase konnten weniger Tubuli mit 0% und mehr Tubuli mit >50% Ki-67 pos. Spermatogonien im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden werden.

Die Verteilung der Tubuli mit unterschiedlichen Prozentanteilen an Ki-67 positiven Spermatogonien war 0, 2 und 4 Wochen nach der Hitzephase höchstsignifikant ($p < 0,001$) unterschiedlich zur Kontrollgruppe, 6 Wochen nach der Hitzephase hochsignifikant ($p < 0,01$).

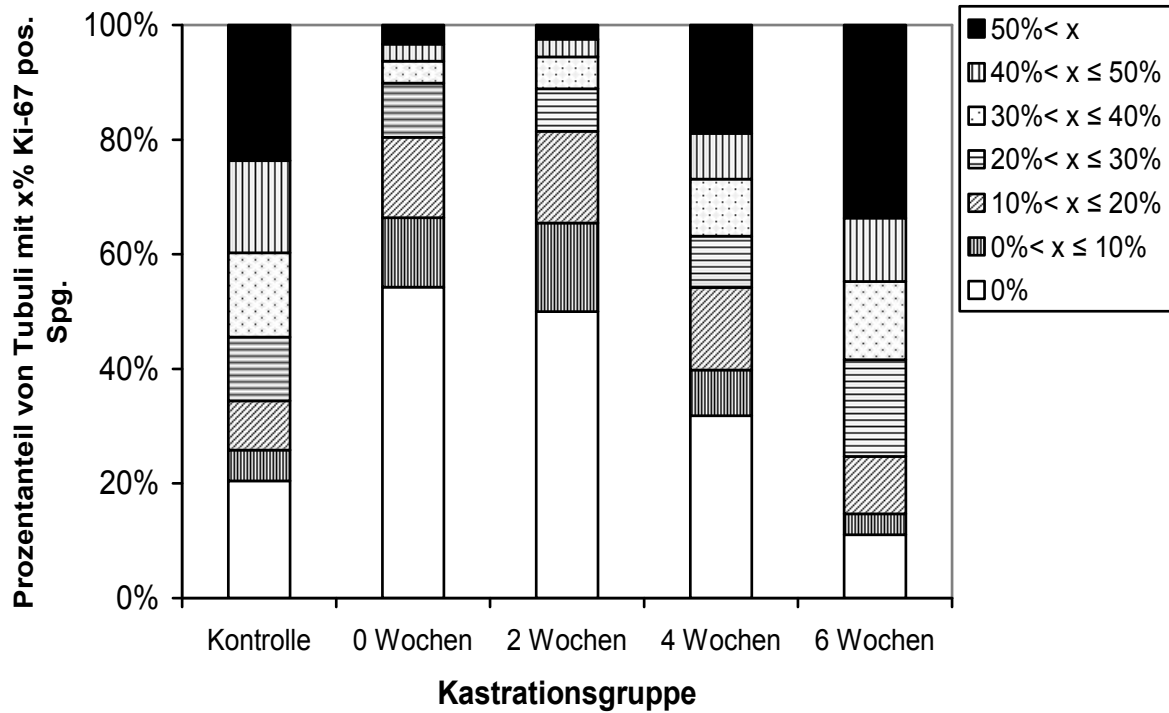
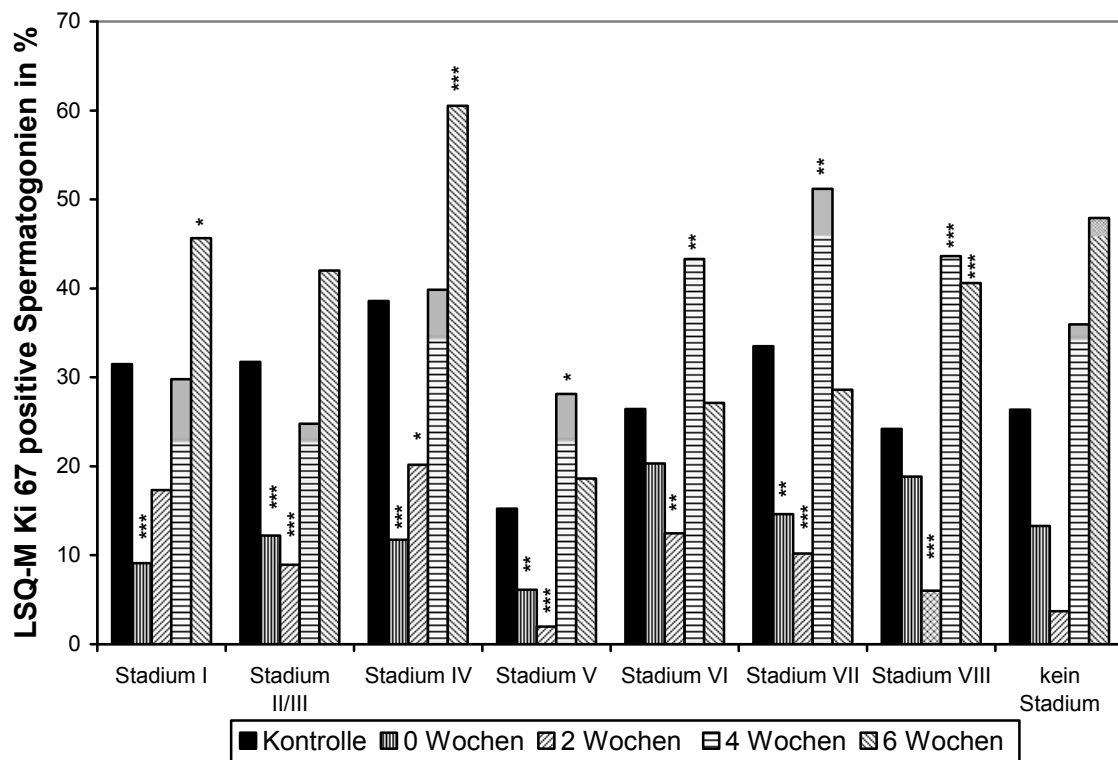


Abb. 27: Prozentanteil an Hodentubuli mit Ki-67 positiven Spermatogonien in % je Hoden der Kastrationsgruppen eingeteilt in 7 Gruppen je nach Prozentsatz der pos. Spermatogonien/Tubulus



signifikante Unterschiede zu Kontrolle: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001

Abb. 28: LSQ-Mittelwerte der Ki-67 positive Spermatogonien/Stadium in % im Versuchsverlauf

Bei Betrachtung der Ki-67 positiven Spermatogonien der einzelnen Stadien im Versuchsverlauf wird deutlich, dass es nach der Hitzephase in allen Stadien zu einer Reduktion der Ki-67 positiven Spermatogonien kam (Abb. 28). Bis auf Stadium I und IV, wo ein leichter Anstieg zu beobachten war, kam es 2 Wochen nach der Hitzephase nochmals zu einem deutlichen Absinken der Anzahl positiver Spermatogonien. Im weiteren Versuchsverlauf (4 Wochen nach der Hitzephase) kam es in allen Stadien zu einem starken Anstieg der Ki-67 positiver Spermatogonien, der außer in Stadium I und II/III bei allen Stadien Werte über denen der Kontrollgruppe erreichte. 2 Wochen später (6 Wochen nach der Hitzephase) konnte in Stadium I, II/III, IV und „kein Stadium“ ein weiterer Anstieg der Ki-67 positiven Spermatogonien beobachtet werden, während in den Stadien V, VI, VII und VIII der Anteil an positiven Spermatogonien abnahm.

4.4 Hormonwerte

4.4.1 Schilddrüsenhormone

4.4.1.1 Trijodthyronin (T₃)

Die Gruppe hatte keinen signifikanten ($p=0,356$) Einfluss auf die T₃-Konzentration im Blutserum. Signifikanten Einfluss zeigte die Temperaturphase mit $p<0,001$, wobei die LSQ-Mittelwerte für die Hitze phase bei 92,7 ng/dl und für die Erholungsphase bei 121,5 ng/dl lagen. Zwischen den Schurtypen konnten keine signifikanten Unterschiede im T₃-Wert festgestellt, die erreichten Werte sind in Tab. 18 dargestellt. Die Interaktion Phase x Schur war nicht signifikant.

Im Versuchsverlauf der T₃-Werte (Abb. 29) ist zu erkennen, dass die T₃-Werte in der Hitze phase auf einem niedrigen Niveau liegen. Ab Versuchswoche 7 ist ein Anstieg der Werte mit einem kurzen Abfall in der 10. und 11. Versuchswoche zu erkennen, der sein Maximum in Versuchswoche 17 erreichte.

Tab. 18: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der T₃-Werte in ng/dl der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen

Phase	Schurtyp	T ₃ -Werte in ng/dl		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitze phase	alle Tiere	92,7	5,7	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>n.s.</div> </div> <div>n.s.</div> </div>		
	g	84,0	8,0			
	h	97,2	13,2			
	u	97,0	8,0			
Erholungsphase	alle Tiere	121,5	4,9	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>n.s.</div> </div> <div>n.s.</div> </div>		
	g	111,9	6,9			
	h	131,1	8,7			
	u	121,5	6,9			

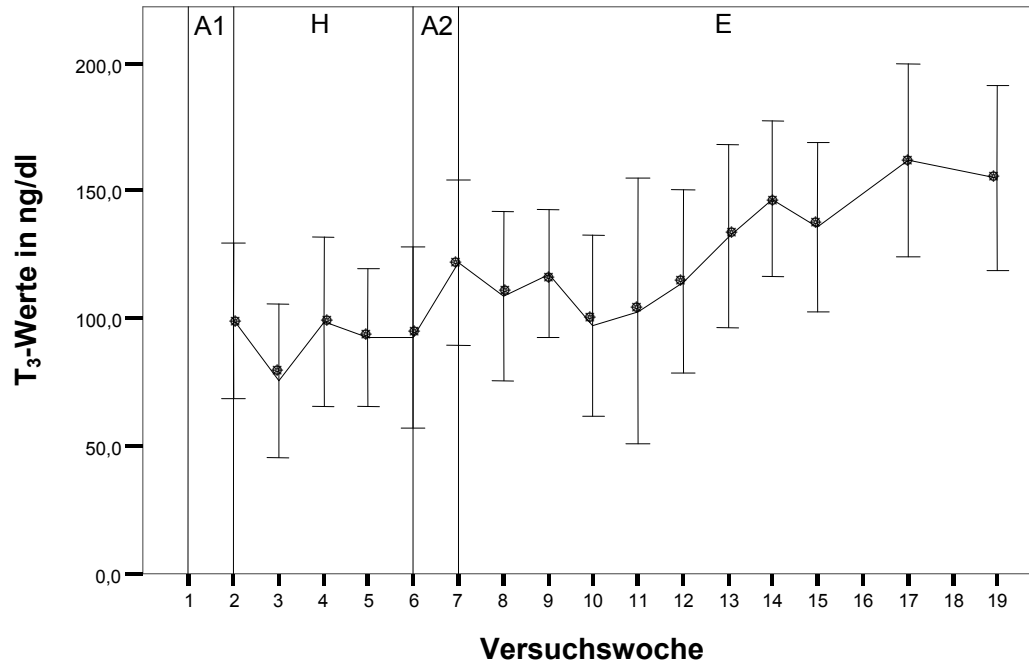


Abb. 29: Serumgehalt an Trijodthyronin ($\bar{x} \pm \text{SD}$) in ng/dl im Versuchsverlauf

4.4.1.2 Thyroxin (T₄)

Für die T₄-Werte zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Gruppe ($p < 0,05$), wobei die LSQ-Mittelwerte mit 2,95 µg/dl für Gruppe 1 und mit 2,70 µg/dl für Gruppe 2 nur gering voneinander differierten. Der Unterschied der T₄-Werte war in den beiden Temperaturphasen hochsignifikant (Tab. 19). Hierbei waren die LSQ-Mittelwerte von T₄ in der Hitzeperiode niedriger im Vergleich zur Erholungsphase. Dies lässt sich auch im Verlauf der T₄-Werte erkennen, wobei ein konstant niedriger Wert in der Hitzeperiode zu verzeichnen war, der in Versuchswoche 7 anstieg und im weiteren Verlauf in der Tendenz auf diesem höheren Niveau verblieb ohne auf den Ausgangswert wieder abzufallen (Abb. 30).

Die Interaktion Phase x Schur war nicht signifikant.

In Tabelle 19 sind die T₄-Werte in µg/dl in den beiden Temperaturphasen getrennt nach Schurtypen dargestellt. Die geschorenen Hengste unterschieden sich in der Hitzeperiode nur von den ungeschorenen Tieren signifikant, während sie sich in der Erholungsphase höchstsignifikant von den ungeschorenen Tieren und hochsignifikant von den halbgeshorenen Tieren unterschieden. Die halb- und ungeschorenen Tiere unterschieden sich in keiner der beiden Temperaturphasen signifikant voneinander.

Tab. 19: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der T₄-Werte in µg/dl der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen

Phase	Schurtyp	T ₄ -Werte in µg/dl		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzephase	alle Tiere	2,6	0,1	<div><div><div><div></div><div>n.s.</div></div><div><div></div><div>n.s.</div></div></div><div><div></div><div>p<0,05</div></div></div> <div>p<0,01</div>		
	g	2,4	0,1			
	h	2,8	0,2			
	u	2,7	0,1			
Erholungsphase	alle Tiere	3,0	0,1	<div><div><div><div></div><div>p<0,01</div></div><div><div></div><div>n.s.</div></div></div><div><div></div><div>p<0,001</div></div></div>		
	g	2,6	0,1			
	h	3,1	0,1			
	u	3,3	0,1			

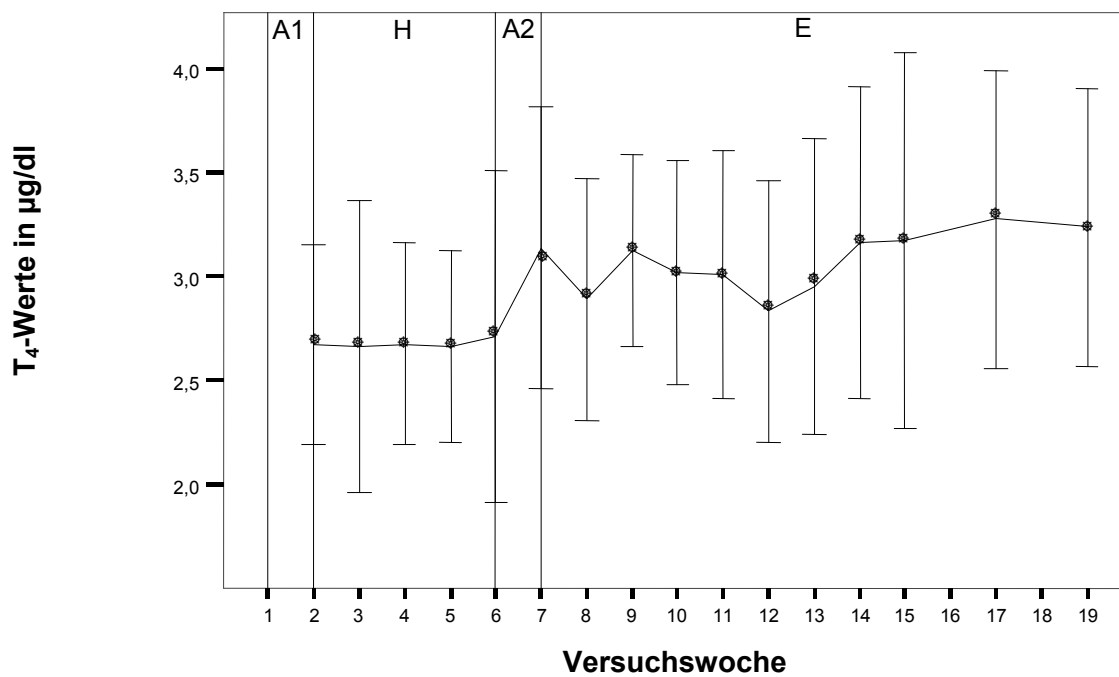


Abb. 30: Serumgehalt an Thyroxin ($\bar{x} \pm \text{SD}$) in µg/dl im Versuchsverlauf

4.4.1.3 Korrelationen zwischen Schilddrüsenhormonen und Rektaltemperaturen

Die beiden Schilddrüsenhormone T_3 und T_4 korrelieren höchstsignifikant miteinander ($r=0,66$; $p<0,001$). Eine hochsignifikante negative Korrelation wurde zwischen den T_3 -Werten und der Rektaltemperatur ermittelt ($r=-0,26$; $p<0,01$). Die T_4 -Konzentration war dagegen nicht signifikant mit der Rektaltemperatur korreliert.

4.4.2 Testosteron

In der Hitzephase, in der die Testosteronwerte der Gruppen verglichen werden konnten, zeigten sich in Gruppe 1 hochsignifikant ($p<0,01$) höhere Werte (LSQ-M: 3,2 ng/ml) als in Gruppe 2 (LSQ-M: 1,4 ng/ml). Bei der weiteren Auswertung wurden nur Werte von Gruppe 1 berücksichtigt. Zwischen der Hitze und der Erholungsphase bestanden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Testosteron-Werte. Auch die Schurtypen unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Interaktion Phase x Schur war ebenfalls nicht signifikant.

Im Versuchsverlauf (nur dargestellt an Werten der Gruppe 1) der Testosteronwerte kam es ab der 7. Versuchswoche zu einem Abfall der Testosteronwerte mit einem Minimum in der 9. Versuchswoche. Auch in Woche 10, 11 und 12 lagen die Werte unter denen der Ausgangswerte (Abb. 31).

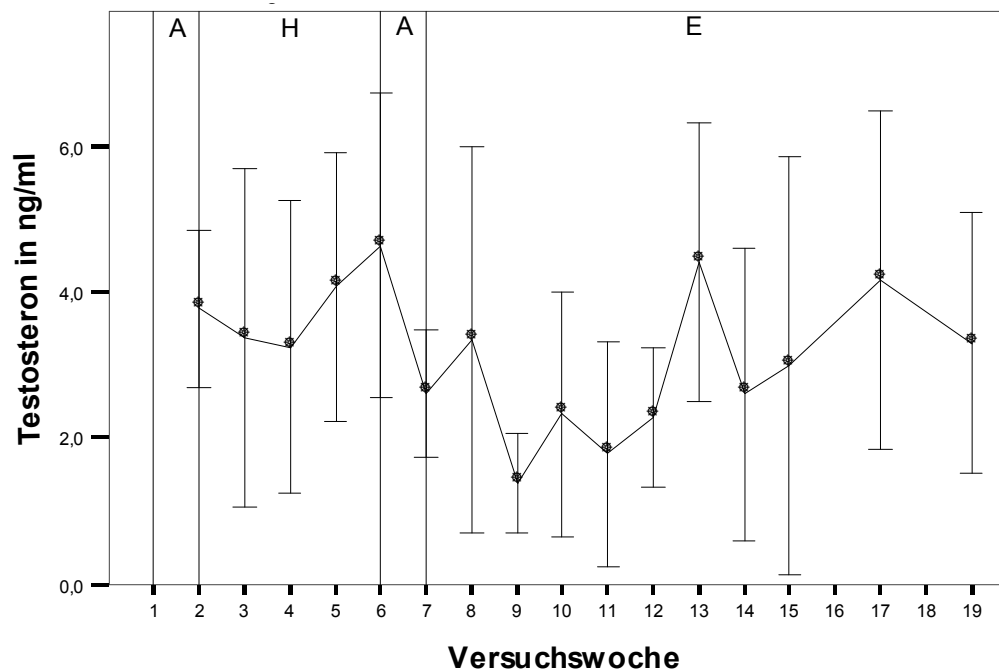


Abb. 31: Serumtestosteron ($\bar{x} \pm SD$) in ng/ml der Gruppe 1 im Versuchsverlauf

4.4.2.1 Korrelation von Testosteron mit Spermaparametern

Es gibt keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Serumtestosterongehalt und der Libido der Hengste. Bei den Spermaparametern lassen sich höchstsignifikante bzw. signifikante positive Korrelationen zwischen dem Testosterongehalt und der Ejakulatkonsistenz ($r=0,487$) bzw. dem pH-Wert ($r=0,258$) der Ejakulate feststellen. Zu den anderen Spermaparametern bestanden keine signifikanten Korrelationen.

4.5 Körperoberflächentemperaturen

4.5.1 Körperoberflächentemperatur im Bereich des Anus

Repräsentativ für die Werte in einem thermalen Fenster wurde der Anuskegel als Fläche ausgewertet. Der Unterschied zwischen den Gruppen war in diesem Merkmal nicht signifikant. Es zeigten sich höchstsignifikante ($p < 0,001$) Unterschiede in den beiden Temperaturphasen, wobei die LSQ-Mittelwerte der Hitze- mit $36,4^{\circ}\text{C}$ höher lagen als die der Erholungsphase ($35,1^{\circ}\text{C}$). Der Schurtyp zeigte einen höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Einfluss, wobei die Interaktion Phase x Schur nicht signifikant war.

Die geschorenen Tiere zeigten in der Hitze- und Erholungsphase höchstsignifikant ($p < 0,001$) niedrigere Oberflächentemperaturen am Anuskegel als die ungeschorenen (Tab. 20). In der Hitze-Phase waren die Unterschiede zwischen den geschorenen und halbgeschorenen Tieren hochsignifikant, in der Erholungsphase nicht signifikant. Die halbgeschorenen und die ungeschorenen Hengste unterschieden sich nur in der Erholungsphase signifikant hinsichtlich dieses Merkmals (Tab. 20).

Tab. 20: LSQ-Mittelwerte der Oberflächentemperatur des Anuskegels in $^{\circ}\text{C}$ der Schurtypen in beiden Temperaturphasen

Phase	Schurtyp	Anuskegel in $^{\circ}\text{C}$		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitze-Phase	alle Tiere	36,4	0,01	<div> <div> <div>p<0,01</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div> <div>p<0,001</div>		
	g	35,9	0,1			
	h	36,6	0,2			
	u	36,6	0,1			
Erholungsphase	alle Tiere	35,2	0,1	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>p<0,05</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	34,8	0,1			
	h	35,2	0,2			
	u	35,6	0,1			

4.5.2 Körperoberflächentemperaturen des Rumpfes

Die Gruppe, der Schurtyp und die Phase haben einen höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Einfluss auf die Körperoberflächentemperaturen im Bereich „vorne“, „mitte“ und „hinten“. Die Interaktion Phase x Schur ist für alle drei Merkmale nicht signifikant.

Die Körperoberflächentemperaturen unterscheiden sich signifikant nur zwischen ungeschorenen und geschorenen Bereichen, so dass sich die ungeschorenen von den geschorenen Tieren in allen drei betrachteten Körperoberflächentemperaturen höchstsignifikant ($p < 0,001$) unterscheiden. Die halbgeschorenen Tiere hingegen unterscheiden sich in den ungeschorenen Regionen „vorne“ und „hinten“ signifikant von den geschorenen Tieren ($p < 0,001$) und in der geschorenen Region „mitte“ signifikant ($p < 0,001$) von den ungeschorenen Tieren (Abb. 54).

In Tab. 21 ist zu erkennen, dass es in allen drei Körperregionen bei allen Schurtypen zu einem höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Abfall der Oberflächentemperaturen nach Beendigung der Hitzeperiode kam.

Tab. 21: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M) und Standardfehler (SE) der Körperoberflächentemperaturen „vorne“, „mitte“ und „hinten“ in °C der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen

Phase	Schurtyp	„vorne“ in °C		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzeperiode	alle Tiere	29,2	0,2	<div> <div> <div>p<0,001</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	31,1	0,2			
	h	28,4	0,4			
	u	28,3	0,2			
Erholungsperiode	alle Tiere	24,3		<div> <div> <div>p<0,001</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	26,2	0,2			
	h	23,4	0,4			
	u	23,3	0,2			
Phase	Schurtyp	„mitte“ in °C		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzeperiode	alle Tiere	30,1	0,1	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>p<0,001</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	31,2	0,2			
	h	31,1	0,3			
	u	27,9	0,2			
Erholungsperiode	alle Tiere	25,2	0,2	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>p<0,001</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	26,1	0,2			
	h	26,8	0,3			
	u	22,6	0,2			
Phase	Schurtyp	„hinten“ in °C		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzeperiode	alle Tiere	28,3	0,2	<div> <div> <div>p<0,001</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	30,3	0,2			
	h	27,2	0,4			
	u	27,5	0,2			
Erholungsperiode	alle Tiere	23,3	0,2	<div> <div> <div>p<0,001</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>p<0,001</div> </div> </div>		
	g	25,6	0,3			
	h	21,7	0,4			
	u	22,4	0,2			

4.5.3 Oberflächentemperaturen des Skrotums

Die Gruppe hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Skrotaltemperatur ($p>0,05$), wohingegen die Temperaturphase ($p<0,001$) und der Schurtyp ($p<0,001$) einen höchstsignifikanten Einfluss zeigten. Die Interaktion Phase x Schurtyp war nicht signifikant. In der Hitzeperiode zeigten die ungeschorenen Tiere höhere Skrotaltemperaturen ($p<0,01$) als die geschorenen, wobei sich die halbgeschorenen Tiere weder von den ungeschorenen noch von den geschorenen signifikant unterschieden. In der Erholungsphase unterschieden sich die halbgeschorenen Tiere hinsichtlich der Skrotaltemperatur nur von den ungeschorenen hochsignifikant. Die geschorenen Hengste zeigten auch in der Erholungsphase hochsignifikant niedrigere Skrotaltemperaturen im Vergleich zu den ungeschorenen Tieren (Tab. 22).

Tab. 22: LSQ-Mittelwerte der Oberflächentemperaturen des Skrotums in °C der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen

Phase	Schurtyp	„Skrotum“ in °C		Signifikanzen		
		LSQ-M	SE			
Hitzeperiode	alle Tiere	34,4	0,1	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>n.s.</div> </div> <div> <div>p<0,05</div> </div> </div> <div>p<0,001</div>		
	g	34,2	0,1			
	h	34,3	0,2			
	u	34,6	0,1			
Erholungsphase	alle Tiere	33,0	0,1	<div> <div> <div>n.s.</div> <div>p<0,01</div> </div> <div> <div>p<0,01</div> </div> </div>		
	g	32,9	0,1			
	h	32,7	0,2			
	u	33,4	0,1			

4.5.3.1 Temperaturgradient des Skrotums

In Abb. 32 sind die Einzelmesspunkte der Oberflächentemperatur des Skrotums in Hitze- und Erholungsphase dargestellt. Die Punkte 1-5 liegen auf einer senkrechten Linie durch die Hodenachse, wobei Punkt 1 am weitesten dorsal und Punkt 5 am weitesten ventral liegt. Es ist zu erkennen, dass sowohl in der Hitzephase als auch in der Erholungsphase eine Abnahme der Oberflächentemperatur von dorsal nach ventral festzustellen ist. Die Differenzen zwischen den Punkten liegen in der Hitzephase bei $0,92^{\circ}\text{C}$ und in der Erholungsphase bei $0,80^{\circ}\text{C}$ (Punkte 1 und 5) bzw. bei $1,10^{\circ}\text{C}$ (Punkte 1 und 4).

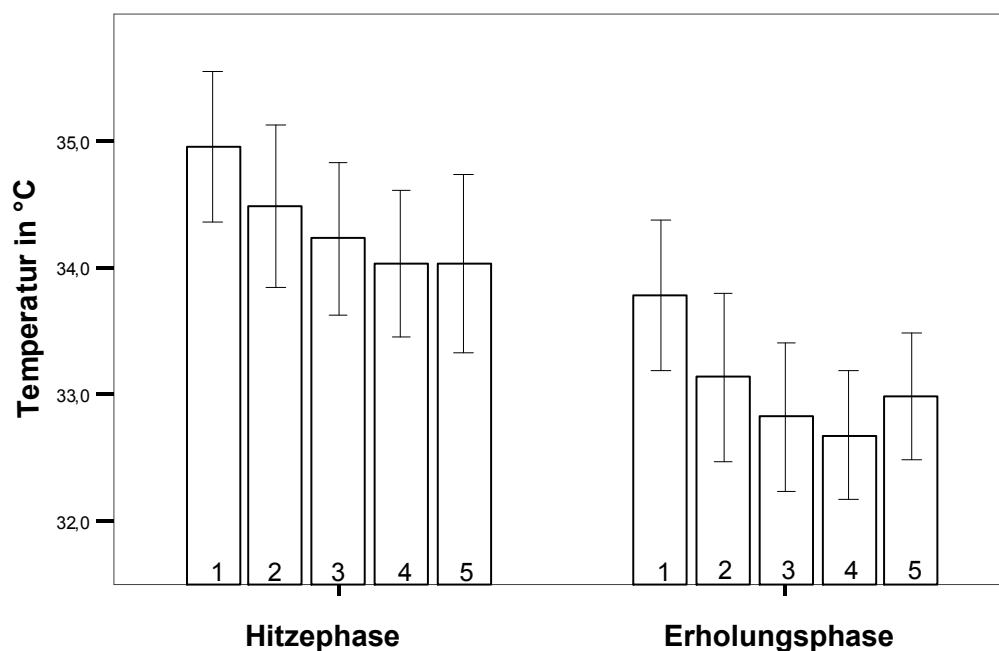


Abb. 32: : Temperaturen der skrotalen Messpunkte 1-5 ($\bar{x} \pm \text{SD}$) in beiden Temperaturphasen (H: Hitzephase; E: Erholungsphase)

4.5.4 Korrelation von Körperoberflächentemperaturen mit Rektaltemperaturen

Die Körperoberflächentemperaturen der Messpunkte (Anus, Skrotum und Körper „vorne“, „mitte“ und „hinten“) korrelieren höchstsignifikant miteinander (Tab. 23). Die Oberflächentemperaturen von Anuskegel und Skrotum korrelieren höchstsignifikant mit der Rektaltemperatur, und die Körperoberflächentemperaturen „vorne“, „mitte“ und „hinten“ hochsignifikant.

Tab. 23: Korrelationen der Körperoberflächentemperaturen und der Rektaltemperatur

Merkmal	Anus	Skrotum	Körper „vorne“	Körper „mitte“	Körper „hinten“
Rektaltemperatur	0,782***	0,680***	0,274**	0,287**	0,279**
Anus		0,867***	0,361***	0,355***	0,376***
Skrotum			0,533***	0,393***	0,519***
Körper „vorne“				0,878***	0,960***
Körper „mitte“					0,869***

***p<0,001, **p<0,01

4.6 Verhalten der Tiere im Versuchsverlauf

4.6.1 Verhaltensmerkmal „Gehen“ im Versuchsverlauf

Im Modell hatten die Gruppe einen höchstsignifikanten ($p<0,001$) und das Lama (genestet in der Gruppe) einen signifikanten Einfluss auf das Verhaltensmerkmal „Gehen“. Phase und Stunde waren nicht signifikant. Hierbei war für die Gruppe 1 der LSQ- Mittelwert für „Gehen“ 0,7 min/h und in Gruppe 2 lag der Wert bei 0,3 min/h. Die großen individuellen Schwankungen sind in Abb. 33 dargestellt, wobei Hengst 1 mit 1,1 min/h die höchsten und Hengst 2 mit 0,1 min/h die niedrigsten Werte aufwies. Bei den Schurtypen zeigten sich nur in Gruppe 1 signifikante ($p<0,05$) Unterschiede zwischen den halb- und ungeschorenen Tieren, wobei die ungeschorenen Hengste höhere Laufaktivitäten aufwiesen als die halbggeschorenen. Im Tagesverlauf (Abb. 34) kann am Vormittag tendenziell eine erhöhte Laufaktivität zwischen 6.00-12.00 Uhr festgestellt werden.

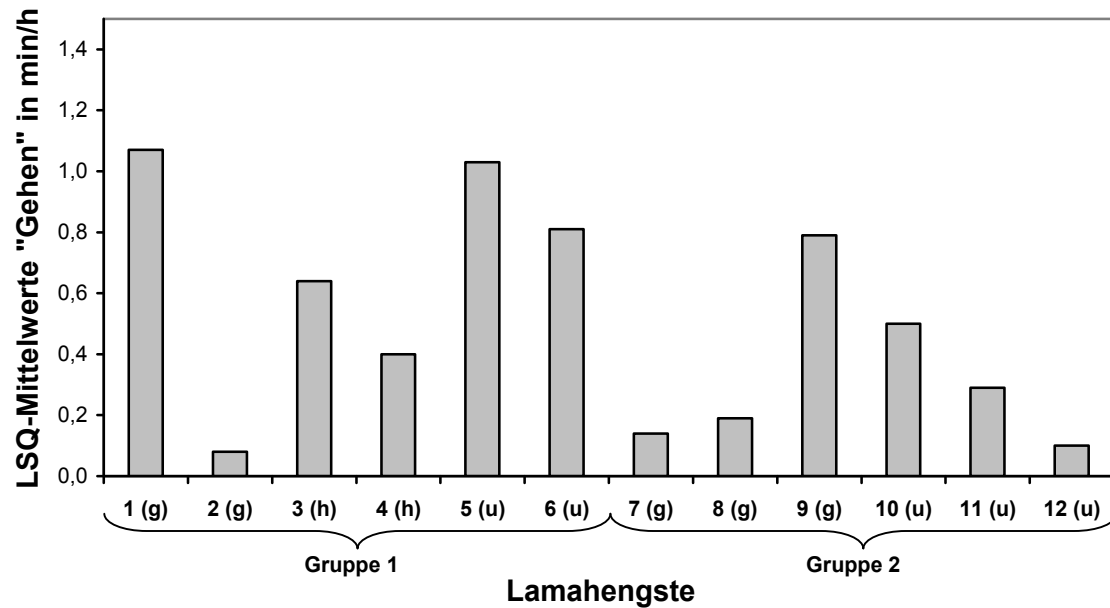


Abb. 33: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Gehen“ der einzelnen Lamahengste ((g): geschoren, (h): halbgeshoren, (u): ungeschoren) im gesamten Versuchszeitraum

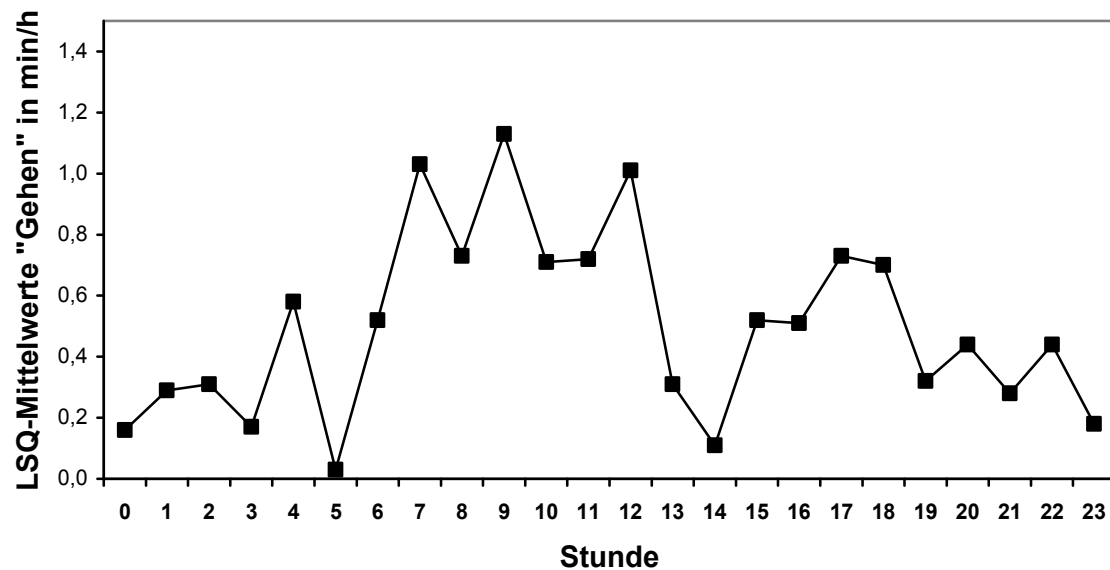


Abb. 34: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Gehen“ im Tagesverlauf

4.6.2 Verhaltensmerkmal „Stehen“ im Versuchsverlauf

Im Verhaltensmerkmal „Stehen“ unterschieden sich die beiden Gruppen hochsignifikant ($p < 0,01$), wobei Gruppe 1 mit dem LSQ-Mittelwert von 19,3 min/h nur leicht unter Gruppe 2 (21,3 min/h) lag. Der Unterschied zwischen den Temperaturphasen war zwar hochsignifikant

($p < 0,01$), die LSQ-Mittelwerte lagen aber mit 19,4 min/h in der Hitze- und mit 21,1 min/h in der Erholungsphase eng beieinander. Das Lama (genestet in der Gruppe) hatte einen höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Einfluss auf die Stehaktivität der Tiere (Abb. 35), wobei sich die verschiedenen Schurtypen nicht signifikant voneinander unterschieden. In Abb. 36 ist die Stehaktivität im Tagesverlauf nach Stunden aufgetragen. Die Stunden im Tagesverlauf unterschieden sich höchstsignifikant ($p < 0,001$). Deutlich ist eine erhöhte Stehaktivität zwischen 6.00 Uhr und 20.00 Uhr (Hellphase) zu erkennen. Um die Mittagszeit (14.00 Uhr) kam es zu einer Reduktion der Stehfrequenz.

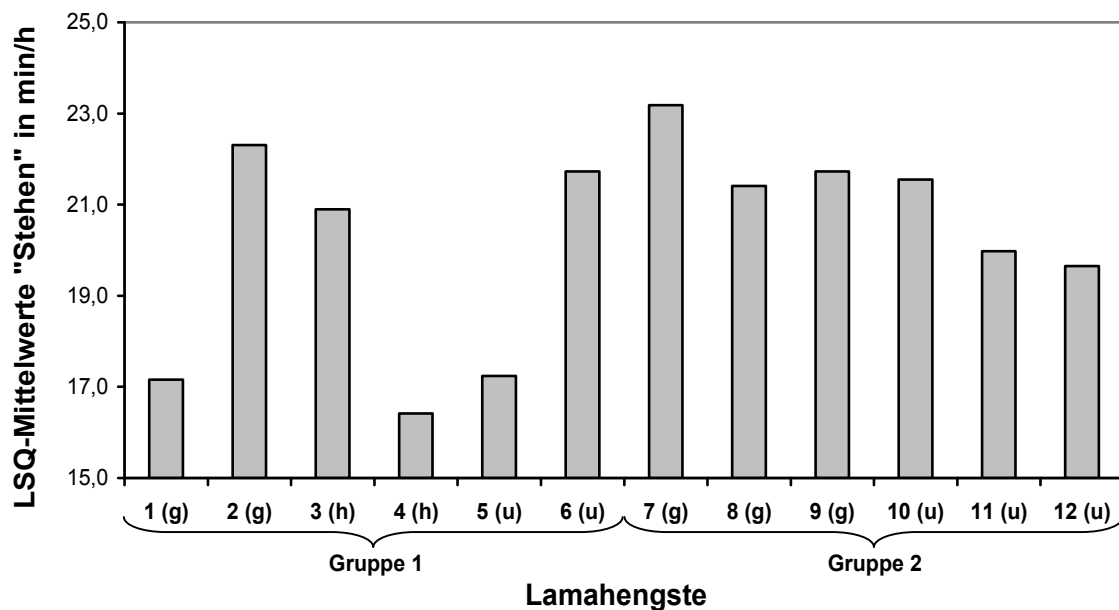


Abb. 35: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Stehen“ der einzelnen Lamahengste ((g): geschoren, (h): halbgeshoren, (u): ungeschoren) im gesamten Versuchszeitraum

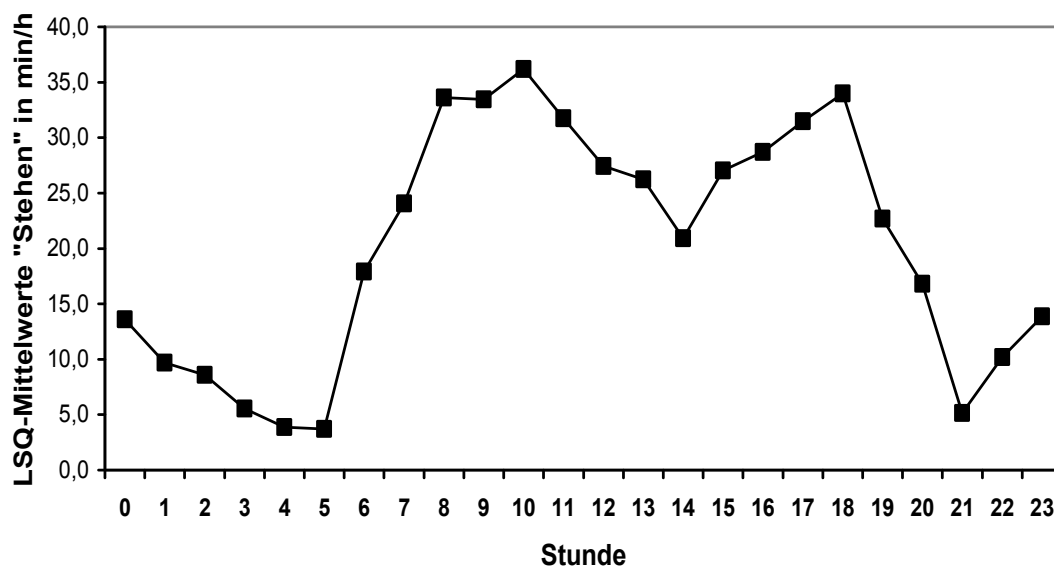


Abb. 36: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Stehen“ im Tagesverlauf

4.6.3 Verhaltensmerkmal „Liegen“ im Versuchsverlauf

Die Gruppe hatte auch in dem Verhaltensmerkmal „Liegen“ signifikanten ($p < 0,05$) Einfluss. Gruppe 1 wies mit 40,0 min/h (LSQ-Mittelwert) eine geringfügig höhere Liegeaktivität auf als Gruppe 2 mit 38,4 min/h (LSQ-Mittelwert). Die Hengste zeigten in der Hitzeperiode zwar hochsignifikant ($p < 0,01$), aber nur geringfügig höhere Liegeaktivitäten (LSQ-Mittelwert = 40,1 min/h) als in der Erholungsphase (LSQ-Mittelwert = 38,4 min/h). Das Lama (genestet in der Gruppe) hatte einen höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Einfluss auf die Liegeaktivität. Die deutlichen individuellen Unterschiede sind in Abb. 37 zu erkennen. Im Tagesverlauf ergeben sich höchstsignifikant ($p < 0,001$) Unterschiede, was anhand der Tagesverlaufskurve in Abb. 38 zu erkennen ist. In der Hellphase zwischen 6.00 Uhr und 20.00 Uhr kam es zu einer verringerten Liegeaktivität, wobei es in der Mittagszeit (um 14.00 Uhr) zu einem Anstieg der Liegefrequenz kam.

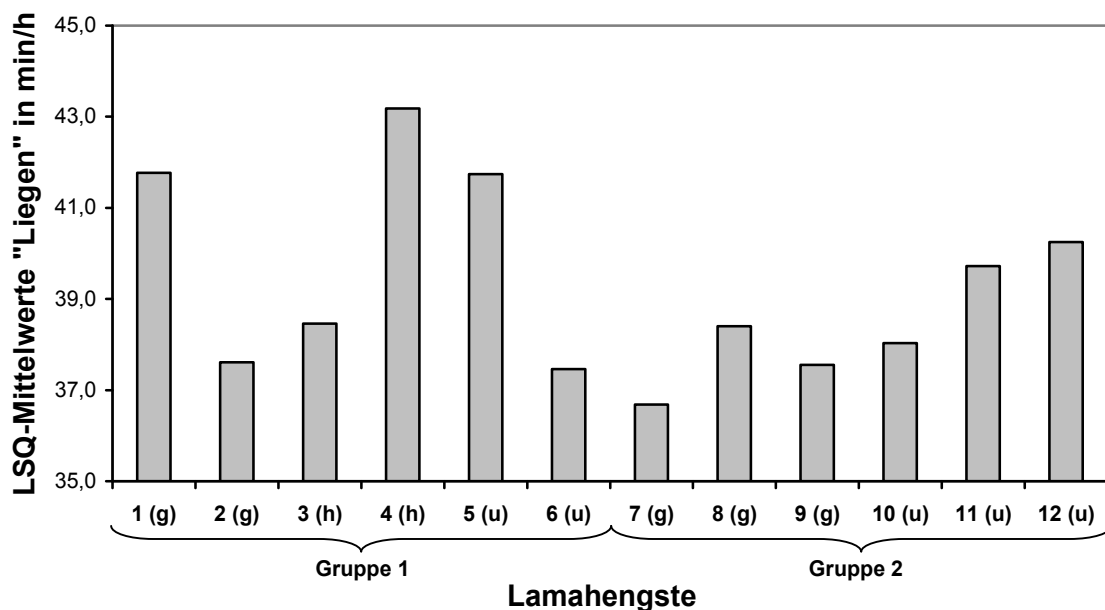


Abb. 37: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Liegen“ der einzelnen Lamahengste ((g): geschoren, (h): halbgeschoren, (u): ungeschoren) im gesamten Versuchszeitraum

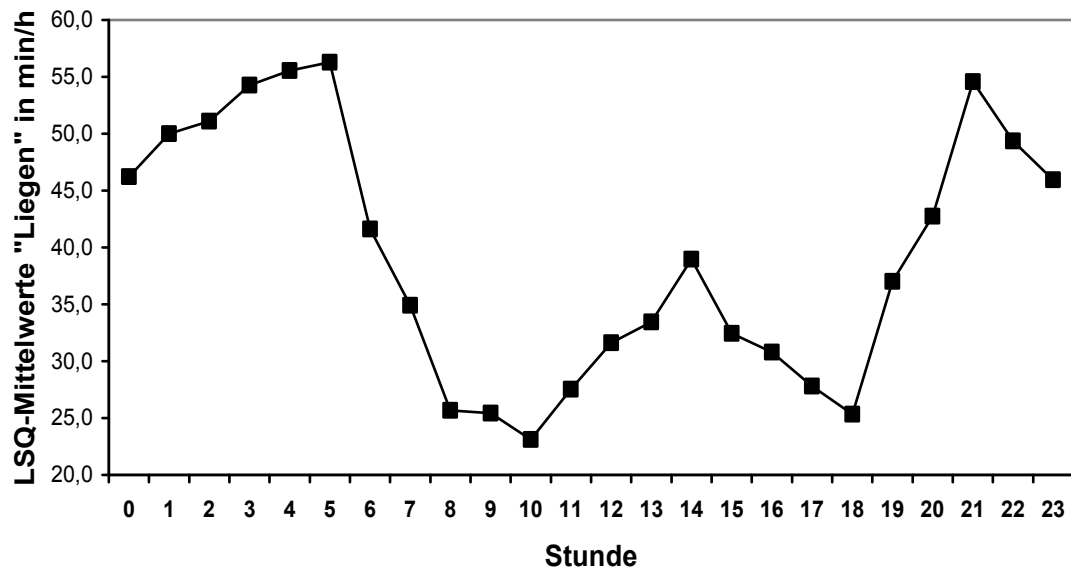


Abb. 38: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Liegen“ im Tagesverlauf

5 Diskussion

5.1 Versuchsbedingungen

Die Raumtemperaturen in der Hitzephase wurden so gewählt, dass deutliche Auswirkungen auf die Thermoregulation, das Verhalten, die Spermaqualität, die Hodenveränderungen und die Hormonwerte bei Lamahengsten zu erwarten waren. Die meisten Literaturangaben zeigen, dass Umgebungs- bzw. Raumtemperaturen von 32°C bis 37°C über einige Tage als Versuchstemperaturen beim Studium hitzeinduzierter Spermienveränderungen beim Schafbock ausreichend sind (HOWARTH, 1969; RATHORE und YEATES, 1967). Für das Lama liegen diesbezüglich keine Literaturangaben vor. Im Gegensatz zu den meisten anderen Haussäugetieren liegt das Skrotum der Lamahengste dem Körper eng an, wodurch nur eine geringe Differenz zwischen Körperinnen- und Hodentemperatur besteht (FOWLER, 1998; GAULY, 1997a). Diese anatomische Besonderheit der männlichen Neuweltkameliden lässt somit eine deutlichere Auswirkung von Hitze auf die Fruchtbarkeit erwarten als z.B. bei Schafbock und Bulle (PUGH und GAULY, 1995). Daher wurde die Temperatur der Hitzephase mit ca. 29°C unter den angegebenen Werten für Schafböcke gehalten.

Die Hitzeexposition sollte den in Mitteleuropa durchaus üblichen Maximaltemperaturen im Sommer entsprechen, um unter diesen Umständen die oben genannten Parameter zu untersuchen. Zudem sollte geprüft werden, ob das von GAULY (1997a) festgestellte Absinken der Spermaqualität von Lamahengsten im Sommer unter mitteleuropäischen Klimabedingungen unter anderem temperaturbedingt ist. Auch der Einfluss der Schur auf die oben genannten Parameter sollte mit der Wahl dieser Raumtemperatur ermittelt werden. Bei Alpakas lassen sich bei 22,5°C keine Unterschiede zwischen den Schurtypen in Bezug auf die physiologischen Parametern finden, während bei Umgebungstemperaturen um 31,5°C tendenzielle Unterschiede zu erkennen sind (HEATH et al., 2001). Wie sich in den Ergebnissen herausstellte, waren bei der gewählten Temperatur zwischen den Schurtypen Unterschiede in den physiologischen Reaktionen zu erkennen. Die Umgebungstemperatur war jedoch so hoch, dass in den Reproduktionsparametern keine Unterschiede der Schurtypen mehr festgestellt werden konnten, da die Schädigungen der Hoden und somit die Veränderungen in den Spermaparametern bei beiden Schurtypen zu massiv waren. Um darzustellen, ob und wenn ja bis zu welcher Umgebungstemperatur beim Lama die Schur einen thermoregulatorischen Vorteil bezüglich der Spermaparameter bringt, wie er von DUTT

und HAMM (1957) für den Schafbock beschrieben wird, müssten weitere Untersuchungen bei unterschiedlichen Raumtemperaturen ($<30^{\circ}\text{C}$) durchgeführt werden.

Bei der vorliegenden Untersuchung wurde unter anderem Wert auf die Länge der Erholungsphase von 13 Wochen (Gruppe 1) bei 20°C gelegt, um auch die Regeneration der Spermaparameter nach der Hitzeperiode vollständig verfolgen zu können.

Die in beiden Durchgängen unterschiedliche Luftfeuchtigkeit war technisch nicht beeinflussbar und daher abhängig von der Außentemperatur und -luftfeuchtigkeit. Da die Gruppen sich in den beiden Durchgängen nicht signifikant in den Parametern Rektaltemperatur und Atemfrequenz unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, dass die thermoregulatorischen Vorteile der niedrigeren Luftfeuchtigkeiten in Gruppe 2 nur minimal waren. Auch NAVARRE et al. (2001) konnten bei Alpakas keine Korrelation der Rektaltemperatur mit der maximalen Tagesluftfeuchtigkeit nachweisen, wohingegen die Rektaltemperatur vor allem der geschorenen Alpakas mit der maximalen und minimalen Tagestemperatur korrelierte.

5.2 Beurteilung der Hitzetoleranz anhand der Körpergewichte, des Wasserverbrauchs und der physiologischen Messparameter

Die Körpergewichtsentwicklung der Tiere in der Hitzeperiode zeigte deutlich den Einfluss der Fütterung von Kraftfutter in Gruppe 1. Hier konnten in der Hitzeperiode Zunahmen des Körpergewichts beobachtet werden, wobei in Gruppe 2 (ohne Kraftfuttergaben) die Körpergewichte abnahmen. Die Spermagewinnung als weiterer Unterschied zwischen den beiden Gruppen kann als Ursache für die unterschiedliche Gewichtsentwicklung ausgeschlossen werden, da sexuell aktive Tiere (z.B. Schafböcke in der Decksaison) einen erhöhten Energie- und Proteinbedarf aufweisen (STRITTMATTER, 2003) und somit bei den sexuell aktiven Lamas in Gruppe 1 ein Gewichtsverlust zu erwarten wäre.

Der im Vergleich zu den anderen Hengsten höhere Gewichtsverlust von Hengst 8 in der Hitzeperiode kann durch den leichten Durchfall in Versuchswoche 1 und 2 erklärt werden.

Zwischen den Schurtypen konnten innerhalb der Gruppen im Bezug auf die Gewichtsentwicklung keine Unterschiede festgestellt werden. Das widerspricht den Ergebnissen von NAVARRE et al. (2001), die bei ungeschorenen Alpakas bei hohen Umgebungstemperaturen (Sommermonate in Zentralalabama) von einem Gewichterhalt ausgehen, während geschorene Tiere an Gewicht gewinnen.

Der Wasserverbrauch der Neuweltkameliden ist von vielen Faktoren abhängig, wie z.B. der Futterzusammensetzung, dem Laktationsstadium, der Umgebungstemperatur und der zu

erbringenden Leistung (FOWLER, 1998). In einem Experiment unter kontrollierten Bedingungen im Stall konnte ein Wasserverbrauch der Lamas von durchschnittlich 42,5ml /KG in $\text{kg}^{0,82}$ ausgemacht werden (RUBSAMEN und ENGELHARDT, 1978). Andere Quellen verweisen auf einen täglichen Wasserbedarf von bis zu 6 Liter/Tier bei reiner Heufütterung (RAPPERSBERGER, 2000). Die in diesem Versuch erreichten Werte liegen mit durchschnittlich 6,6 Liter/Stall (2 Lamas) und Tag deutlich darunter. Dies könnte auf unterschiedliche exogene Faktoren, wie z.B. Fütterung und Haltung der Tiere, zurückzuführen sein, wobei die reine Stallhaltung und Heufütterung eher auf einen höheren Wasserverbrauch schließen lassen würden. Ein möglicher Erklärungsansatz ist eine fehlerhafte Erfassung der tatsächlich verbrauchten Wassermenge in dem vorliegenden Versuch. Bei den verwendeten Wasseruhren handelte es sich um handelsübliche Wasseruhren zur Erfassung größerer Wassermengen an Druckleitungen. In den verwendeten Stallungen war ein Niederdruckwassersystem installiert, bei dem der Druck bei der Entnahme von kleinen Wassermengen durch die Lamas eventuell nicht ausreichte, um die Wasseruhr zu verstellen. Höhere Umgebungstemperaturen resultieren bei Neuweltkameliden in einem erhöhten Wasserbedarf, da ihnen die Fähigkeit der Altweltkamele fehlt, erhöhte Körperinnentemperaturen in gleichem Umfang zu kompensieren (FOWLER, 1998). Die halbgeschorenen Tiere zeigten dementsprechend einen höheren Wasserverbrauch in der Hitzeperiode. Warum weder die geschorenen noch die ungeschorenen Lamas signifikante Unterschiede in den Temperaturphasen aufwiesen, kann nicht eindeutig geklärt werden. Die Lamas zeigten in der Hitzeperiode jedoch erhöhte Trinkfrequenzen, wie MÜLLER-ARNKE (2003) in ihren Untersuchungen ermitteln konnte. Es scheint, dass die Lamas häufiger Wasser in kleineren Schlucken zu sich nahmen, deren relativ kleine Wassermenge möglicherweise nicht von den verwendeten Wasseruhren erfasst wurde.

Bei Tieren gibt es vier Möglichkeiten der Wärmeabgabe: Strahlung, Konduktion, Konvektion und Verdunstung. Bei hohen Umgebungstemperaturen steht dem Tier nur noch die Verdunstung durch Schwitzen oder über die Atemluft zur Wärmeabgabe zur Verfügung (JESSEN, 1996). Daher ist mit einem Anstieg der Atemfrequenz infolge einer Hitzebelastung zu rechnen. Einen deutlichen Anstieg der Atemfrequenz von 23 Atemzügen/min bis zu 217 Atemzügen/min durch eine Hitzebelastung wird in der Literatur bei Schafen beschrieben (ASHOKE und RATHORE, 1969; DUTT und HAMM, 1957; HOWARTH, 1969; MIEUSSET et al., 1992b; ZIEGER, 1998). Bei Guanakos fällt der Anstieg deutlich niedriger aus. Bei einer Umgebungstemperatur von 26-30°C liegt die Atemfrequenz bei 21-32

Atemzügen/min und bei einer Umgebungstemperatur von 42°C bei ca. 40 Atemzügen/min (ROSENMANN und MORRISON, 1963). Andere Autoren können beim Guanako keinen Anstieg der Atemfrequenz feststellen, wenn die Umgebungstemperatur von 20°C auf 33°C angehoben wird (DE LAMO et al., 2001). Erst bei zusätzlichem Wasserentzug und daraus resultierender Dehydrierung kommt es beim Guanako mit zunehmender Umgebungstemperatur zu höheren Atemfrequenzen (ROSENMANN und MORRISON, 1963).

Im hier durchgeführten Versuch wird der Normbereich (10-30 Atemzügen/min) von Lamas (FOWLER, 1998) in der Hitze phase mit 45,9 Atemzügen/min deutlich überschritten (Erholungsphase: mit 21,9 Atemzüge/min im Normbereich). Dabei fällt der Anstieg der Atemfrequenz nicht so drastisch aus, wie er beim Vergleich mit z.B. Schafböcken in einer ähnlichen Hitzebelastung zu erwarten wäre (DUTT und HAMM, 1957).

In den Versuchen zeigte sich, dass sich zwischen der Atemfrequenz und der Rektaltemperatur eine hohe positive Korrelation beobachten ließ. Dies ist physiologisch zu erklären, da die Hengste die erhöhte Körperinnentemperatur insbesondere über die Ausatemluft bzw. -frequenz zu kompensieren versuchen (HOFMANN und RIEGEL, 1977).

Bei ungeschorenen Tieren ist die Fähigkeit der Wärmeabgabe durch Schwitzen durch das dicke Vlies reduziert (JESSEN, 2000), weshalb dem ungeschorenen Tier bei hohen Umgebungstemperaturen nur noch die Wärmeabgabe durch die Atemluft zur Verfügung steht. Somit können die signifikant höheren Atemfrequenzen der ungeschorenen Lamas im Vergleich zu den geschorenen Tieren erklärt werden. Die halbgeshorenen Tiere scheinen zwar bezüglich der Atemfrequenz in der Erholungsphase einen thermoregulatorischen Vorteil im Vergleich zu den ungeschorenen Tieren zu haben, dieser ist aber in der Hitze phase nicht mehr vorhanden. Das deckt sich mit den Erkenntnissen von NAVARRE et al. (2001), die klinische Fälle von Hitzestress nur bei halb- und ungeschorenen Neuweltkameliden, nicht aber bei vollgeschorenen Tieren beobachten konnten. Auch bei Schafen kommt es bei einer Umgebungstemperatur von 32,2°C zu deutlichen Unterschieden in den Atemfrequenzen zwischen geschorenen und ungeschorenen Tieren mit 134 Atemzüge/min bzw. 178 Atemzüge/min (DUTT und HAMM, 1957). Somit liegen die erreichten Werte deutlich über den bei den Lamas zu beobachtenden Atemfrequenzen. Auch ZIEGER (1998) zeigte in seinen Untersuchungen, dass ungeschorene Schafböcke Hitzebelastungen wesentlich schlechter tolerieren und höhere Atemfrequenzen aufweisen als geschorene Böcke.

Die in diesem Versuch bei den Lamas festgestellten signifikant niedrigeren Pulsfrequenzen in der Hitze- im Vergleich zur Erholungsphase werden auch von ROSENMANN und MORRISON (1963) für das Guanako beschrieben. Dieser Pulsfrequenzabfall wird von den Autoren auf eine „sedative“ Wirkung der Hitze zurückgeführt. Die Unterschiede zwischen Hitze- und Erholungsphase waren zwar signifikant, betrugen jedoch nur 2 Pulsschläge/min. Der physiologische Nutzen von derart geringen Unterschieden in der Pulsfrequenz bleibt fraglich. Ein Erklärungsansatz könnte die reduzierte Aktivität in der Hitze-Phase sein, wobei die Lamas durch vermehrte Liegeaktivitäten versuchen, die Wärmeproduktion der Muskeln zu vermindern. Auch diese Verhaltensunterschiede zwischen den Temperaturphasen waren zwar signifikant, aber sehr gering.

DUTT und HAMM (1957) konnten bei geschorenen Schafböcken einen Anstieg der Pulsfrequenz bei einer Hitzebelastung von 32,2°C feststellen, während die Pulsfrequenz bei ungeschorenen Böcken in der Hitze-Phase leicht abnahm. Die Ausgangspulsfrequenz war bei beiden Schurtypen identisch. Dies deckt sich mit den Ergebnissen bei den hier untersuchten Lamas. Die Pulsfrequenzen überschritten zu keinem Zeitpunkt den Normbereich von 60 bis zu 90 Schlägen/min (FOWLER, 1998). Warum die Pulsfrequenzen aller Lamas auch in der Erholungsphase deutlich unter den von FOWLER (1998) angegebenen Normbereich liegen, ist unklar.

Alpakas und Guanakos zeigen bei hohen Umgebungstemperaturen auch höhere Rektaltemperaturen (HEATH et al., 2001; NAVARRE et al., 2001; ROSENMANN und MORRISON, 1963). Im vorliegenden Versuch konnte bei den Lamas ein deutlicher Anstieg der Rektaltemperatur um 0,84°C in der Hitze-Phase beobachtet werden. Die ungeschorenen Tiere zeigten in beiden Temperaturphasen signifikant höhere Rektaltemperaturen als die geschorenen Tiere. Diese Beobachtung deckt sich mit den Untersuchungen von HEATH et al. (2001) und NAVARRE et al. (2001). Die Autoren verglichen die Rektaltemperaturen von geschorenen und nicht geschorenen Alpakas bei hohen Außentemperaturen und konnten einen tendenziellen Unterschied der Rektaltemperaturen feststellen. Die für Alpakas erreichten Werte (HEATH et al., 2001) liegen jedoch deutlich über den hier für Lamas ermittelten Rektaltemperaturen. Die Körpertemperatur von Alpakas bei 31,5°C Umgebungstemperatur lag bei ungeschorenen Tieren mit deutlich mehr Messzeitpunkten über dem Normbereich (37,5-38,9°C; FOWLER, 1998) als bei geschorenen Tieren (HEATH et al., 2001). Auch bei den hier untersuchten Lamas konnten Überschreitungen des Normbereiches (bis zu 0,2°C) nur bei zwei ungeschorenen Tieren (Hengst 6 und 12) an vereinzelten Tagen in

der Hitzeperiode beobachtet werden. Die halbgeschorenen Tiere unterscheiden sich in der Hitzeperiode nicht von den ungeschorenen Tieren und zeigen in der Erholungsperiode etwas niedrigere Rektaltemperaturen als die ungeschorenen Tiere.

Auch bei Schafböcken werden bei Umgebungstemperaturen von 32,2°C höhere Rektaltemperaturen erreicht. Hierbei zeigen geschorene Böcke (39,1°C) Körperinnentemperaturen im Normbereich während sich die Rektaltemperaturen von ungeschorenen Tieren (40,5°C) deutlich über dem Normbereich befinden (DUTT und HAMM, 1957). Bei Umgebungstemperaturen von 29,4°C liegen die Rektaltemperaturen von Schafen etwas niedriger, wie FOOTE et al. (1957) beschreibt. Geschorene Tiere zeigen hier Rektaltemperaturen von 39,3°C und ungeschorene Tiere von 39,7°C. Die Werte liegen bei beiden Schurtypen im Normbereich (FOOTE et al., 1957). Die Unterschiede in den Rektaltemperaturen zwischen geschorenen und ungeschorenen Lamas in der Hitzeperiode (Differenz: 0,34°C) liegen deutlich unter denen der Schafe bei 32,2°C (Differenz: 1,4°C) (DUTT und HAMM, 1957), aber in etwa im Bereich der bei 29,4°C gehaltenen Schafe (Differenz: 0,42°C) (FOOTE et al., 1957).

Allgemein ist zu erkennen, dass alle Lamas durch die gesteigerte Atemfrequenz ihre Körperinnentemperaturen im physiologischen Bereich halten konnten. Auch die sehr geringen Unterschiede in den Pulsfrequenzen bezüglich der Temperaturphasen zeigen eine gute Kompensation der erhöhten Umgebungstemperatur. Dennoch konnten deutliche Unterschiede zwischen den Schurtypen festgestellt werden, wobei die ungeschorenen Tiere schlechter mit den hohen Umgebungstemperaturen zurecht kamen als die geschorenen. Vor allem die höheren Rektaltemperaturen der ungeschorenen Tier im Vergleich zu den geschorenen Tieren, weisen auf eine reduzierte Fähigkeit zur Thermoregulation hin, die durch das stark isolierende Vlies hervorgerufen wird. HEATH et al. (2001) und NAVARRE et al. (2001) kommen auch für Alpakas zu diesen Schlussfolgerungen.

Die halbgeschorenen Tiere zeigten keine bessere Hitzetoleranz im Vergleich zu den ungeschorenen Tieren, woraus gefolgert werden kann, dass diese Art der Schur für das Tier keine thermoregulatorischen Vorteile bringt. Das deckt sich mit den Erkenntnissen von NAVARRE et al. (2001), der die Thermoregulation nur bei vollgeschorenen Neuweltkameliden verbessert sieht, da er klinische Fälle von Hitzestress bei halb- und ungeschorenen Tieren feststellen konnten.

5.3 Einfluss der Hitzebelastung auf die Reproduktionsparameter

5.3.1 Hitzeeinfluss auf die Libido und die Ejakulatparameter

Bei den untersuchten Lamahengsten konnte kein signifikanter Einfluss der Hitzebelastung auf Libido A, d.h. die Annahme des Phantoms, festgestellt werden. Diese Beobachtung deckt sich mit der Literatur, wobei die Libido bei Schafen durch eine Hitzebelastung nicht verändert wird (DUTT und HAMM, 1957; HOWARTH, 1969).

Die bei den Lamas festgestellte Libido D war unter der Hitzeeinwirkung signifikant schlechter, das bedeutet, dass die künstliche Vagina von den Hengsten in der Erholungsphase besser und dauerhafter angenommen wurde. Die Libido D lässt sich nur bei Tierarten feststellen, deren Deckakt länger als 2 Minuten dauert. Da der Deckakt beim Schaf und Rind nur wenige Sekunden dauert (BUSCH, 2001), kann bei diesen Tierarten nur Libido A beurteilt werden. Daher liegen keine vergleichbaren Werte für Libido D vor.

Die untersuchten Lamas zeigten individuelle Unterschiede in Libido A und Libido D. BRAVO (2002) beschreibt ebenfalls eine individuelle Variation in der Dauer des Deckaktes und somit in der sexuellen Libido bei Neuweltkameliden. Auch bei Schafen sind individuelle Unterschiede der Libido bekannt (SMIDT, 1994)

Der durchschnittliche pH-Wert der Ejakulate lag bei den untersuchten Lamas bei 7,7. GAULY (1997a) konnte in seinen Untersuchungen an Lamas durchschnittlich einen leicht höheren pH-Wert von $7,8 \pm 0,3$ feststellen, bei Untersuchungen von LICHTENWALNER et al. (1996) lag der pH-Wert mit $8,1 \pm 1,1$ noch höher. Diese in der Literatur sehr unstimmigen Werte sind wahrscheinlich auf die starken individuellen Schwankungen zurückzuführen, da die Untersuchungen jeweils nur an sehr geringen Tierzahlen durchgeführt wurden. Die individuellen Unterschiede konnten auch bei den vorliegenden Untersuchungen deutlich aufgezeigt werden, wobei vor allem Hengst 5 sehr niedrige pH-Werte aufwies und somit den durchschnittlichen pH-Wert senkte.

ZIEGER (1998) konnte bei Schafböcken nach einer Ganzkörperhitzebelastung einen deutlichen pH-Wert Anstieg des Spermas darstellen. Der pH-Wert der Ejakulate steht in direktem Zusammenhang mit der Anzahl und Vitalität der Spermien. Beim Schafbock zeichnen sich gute Ejakulate durch einen pH-Wert zwischen 6 und 7 aus. Diese „Ansäuerung“ wird durch die verstärkte Metabolisierung von Fruktose durch die Massen sich vorwärtsbewegender Spermien verursacht (MENGER, 1987). So entfällt umgekehrt bei

Ejakulaten mit geringer Spermiendichte bzw. relativ vielen toten Spermien dieser zu beobachtende pH-Wert Abfall.

Die relativ hohen pH-Werte der Ejakulate von Neuweltkameliden werden von GAULY (1997a) durch das Fehlen der Vesikulardrüse erklärt. Ein anderer Erklärungsansatz könnte die sehr niedrige Spermiendichte von Lamas im Vergleich zum Schaf sein, so dass eine „Ansäuerung“ des Ejakulates auch unter normalen Bedingungen nicht in dem wie beim Schaf beschriebenen Ausmaß stattfindet. Dafür sprechen auch die entsprechend hohen pH-Werte sowohl in der Hitze- als auch in der Erholungsphase, so dass eine Reduzierung der Spermiendichte und der lebenden Spermien nicht zu einem pH-Wert Anstieg führt.

Das Volumen der Ejakulate entspricht mit durchschnittlich 2,6 ml den Mengenangaben in der Literatur. Bei Lamas gibt es individuelle Unterschiede im Ejakulatvolumen. Diese wurden von GAULY (1997a) u.a. auf die individuell unterschiedliche Dauer des Deckaktes zurückgeführt, wobei das Ejakulatvolumen mit zunehmender Deckdauer steigt (LICHTENWALNER et al., 1996). Der Deckakt bei dem hier durchgeführten Versuch wurde nach 10 Minuten unterbrochen. Trotz einheitlicher Dauer des Deckaktes konnten bei den hier untersuchten Lamas individuelle Unterschiede im Ejakulatvolumen festgestellt werden, wobei Hengste mit großen Ejakulatvolumina tendenziell flüssigere Ejakulate aufwiesen.

LaRUE JOHNSON (1989) kam in seinen Untersuchungen zu einer durchschnittlichen Menge von 3,0 ml. Die Angaben von GAULY und LEIDINGER (1995) liegen bei 2,4 ml.

In der vorliegenden Fachliteratur gibt es verschiedene Angaben über die Volumenentwicklung des Ejakulates durch eine Hitzebelastung. SMITH (1971) berichtet bei Schafböcken über eine Volumenzunahme durch Hitzeeinfluss, wobei einige Autoren keinen Einfluss der Hitzebelastung auf das Ejakulatvolumen feststellen können (DJANUAR, 1965; KRÄMER, 2000; WILSON et al., 1959). Andere Autoren wiederum berichten von einer Volumenabnahme durch eine Hitzebelastung (RAO und RAO, 1977; RATHORE, 1968). Diese Ergebnisse decken sich mit den bei den Lamas gefundenen Werten, da in der Hitzephase ein höchstsignifikant niedrigeres Ejakulatvolumen festgestellt werden konnte als in der Erholungsphase. Ein möglicher Erklärungsansatz ist die signifikant schlechtere Libido D der Hengste in der Hitzephase. Der Deckakt wurde in der Hitzephase öfter unterbrochen bzw. frühzeitig abgebrochen. Das Ejakulatvolumen ist abhängig von der Deckaktdauer (LICHTENWALNER et al., 1996) und ist somit bei schlechter Libido D geringer.

Die Ausgangswerte der Spermiedichte lag mit 97500 Spermien/ μ l ($=97,5 \times 10^6$ Spermien/ml) etwas unter den für Lamas in der Literatur angegebenen Werten. GAULY und LEIDINGER (1995) geben die mittlere Dichte mit $106,76 \times 10^6$ Spermien/ml an.

Bei den hier untersuchten Lamas kam es in den ersten drei Wochen nach Hitzebeginn zu einem leichten Anstieg der Spermienkonzentration. Einen ähnlichen Anstieg der Spermiedichte in der Hitzebelastung konnte auch ZIEGER (1998) bei Schafböcken, sowohl bei einer Ganzkörperhitzebelastung als auch bei einer Hodenisolation beobachten. Eine mögliche Erklärung hierfür kann die hitzebedingte Verringerung des Durchmessers und der Länge des Nebenhodenkanals sein (BEDFORD, 1991), so dass sich die Dauer der Nebenhodenpassage verkürzt und die Spermien durch den sich ergebenden Druck leichter und konzentrierter abgegeben werden können (BEDFORD, 1978 und 1991). Ein anderer Erklärungsansatz ist das gleichzeitig niedrigere Ejakulatvolumen der Lamas. Wird nur das Volumen verringert, steigt die Spermiedichte/ μ l Ejakulat an. Dagegen spricht, dass auch die Gesamtspermienzahl im Ejakulat in der Hitzephase erhöht ist.

Die Spermiedichte im Ejakulat von Schafböcken nimmt 2-3 Wochen nach Beginn einer Ganzkörperhitzebelastung ab (DJANUAR, 1965; DUTT und HAMM, 1957; HOWARTH, 1969; ZIEGER, 1998). MOULE und WAITES (1963) konnten allerdings keine Veränderung der Spermiedichten nach Hitzebelastung feststellen. Bei den hier untersuchten Lamas kam es erst 4-5 Wochen nach Beginn der Hitzeperiode zu einer Abnahme der Spermienkonzentration, d.h. ca. 2 Wochen später als beim Schafbock. Der durchschnittliche Minimalwert der Spermiedichte der Lamas lag in der 10. Versuchswoche (8 Wochen nach Hitzebeginn) mit Werten der einzelnen Hengste zwischen 0-1500 Spermien/ μ l.

In den Untersuchungen von DUTT und HAMM (1957) wurden bei ungeschorenen Schafböcken fünf Wochen nach einer einwöchigen Hitzebelastung (6 Wochen nach Hitzebeginn) von $32,2^{\circ}\text{C}$ eine minimale Spermienkonzentration von $1,2 \times 10^8$ Spermien/ml erreicht. Auch die minimale Spermiedichte im Versuchsverlauf scheint bei Lamas ca. zwei Wochen später als bei Schafböcken aufzutreten und erreicht deutlich niedrigere Werte. Es bedarf weiterer Untersuchungen, ob die längere Hitzebelastung von 4 Wochen oder eine im Vergleich zum Schafbock verlängerte Nebenhodenpassage verantwortlich ist. Gegen die längere Hitzebelastung als einziger Grund für die Verzögerung spricht, dass FOWLER und DUN (1966) auch nach einer 21tägigen Hitzebelastung von $28-30,5^{\circ}\text{C}$ beim Schafbock einen Minimalwert der Spermiedichte 6,5 Wochen nach Hitzebeginn nachweisen konnten. Für die stärkere Hitzeeinwirkung als Grund spricht, dass RAO und RAO (1977) beim Schafbock nach

einer lokalen Hodenerwärmung (41°C, 1 h) einen Minimalwert der Spermiedichte 52 Tage (7,5 Wochen) nach der Hitzebelastung beobachten konnten.

Die Ausgangswerte der Spermiedichten wurden von den Lamas in Versuchswoche 18 wieder erreicht, das entspricht 12 Wochen nach dem Ende der Hitzeperiode. Bei den Versuchen von HOWARTH (1969) waren bei Schafböcken 10 Wochen nach der Hitzebelastung die Ausgangsspermienkonzentrationen noch nicht wieder erreicht. Während die Schafböcke in den Versuchen von RAO und RAO (1977) nach lokaler Hodenerwärmung (41°C, 1 h) die Ausgangswerte am Tag 88 (12,5 Wochen) nach der Hitzebelastung wieder erreichten.

Der Ausgangswert (LSQ-M) der Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien mit 63% liegt im Bereich der von FOWLER (1998) angegebenen Normwerte (61,7±23,5%). LICHTENWLANER et al. (1996) konnten in ihren Untersuchungen jedoch nur eine Vorwärtsbeweglichkeit von 23,7±20,0% feststellen.

Bei allen untersuchten Lamas wurde die Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien durch die Hitzeperiode beeinflusst. Wie auch in der Literatur bei Schafböcken beschrieben, kommt es nach einer Hitzebelastung zu einem Absenken der Spermienbeweglichkeit (FOWLER und DUN, 1966; HOWARTH, 1969; MIEUSSET et al., 1992a; SMITH, 1971).

Bei Bullen führt eine Ganzkörperhitzebelastung nach 1 Woche zu einer Abnahme der Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien, die für 40 bis 60 Tage anhält (CASADY et al., 1953; SKINNER und LOUW, 1966). Diese Beobachtung kann auch bei Schafböcken bestätigt werden, bei denen es 1 bis 2 Wochen nach einer Hitzebelastung zu einer Reduktion der vorwärtsbeweglichen Spermien kommt. 30 bis 42 Tage nach der Hitzebelastung werden die Ausgangswerte wieder erreicht (DUTT und HAMM, 1957; MOULE und WAITES, 1963; SMITH, 1971). Bei stärkerer Hitzeeinwirkung (24 h, 37,7°C) kann bei Schafböcken eine Abnahme der Vorwärtsbeweglichkeit eine Woche nach Hitzeapplikation festgestellt werden, die ein Minimalwert in der 2. bis 6. Woche nach der Hitzebelastung erreicht. 10 Wochen nach der Hitzebelastung sind die Ausgangswerte noch nicht ganz wieder hergestellt (DJANUAR, 1965).

Bei den Lamas kam es übereinstimmend mit den Literaturangaben (DUTT und HAMM, 1957; MOULE und WAITES, 1963; SMITH, 1971) für Schafböcke 1 Woche nach Beginn der Hitzeperiode zu einer Abnahme der Spermienmotilität, wobei die niedrigsten Werte 5-10 Wochen nach Beginn der Hitzeperiode zu beobachten waren. In Woche 15 nach Beginn der Hitzeperiode (10 Wochen nach Beendigung der Hitzeperiode) waren die Ausgangswerte

wieder annähernd erreicht. Lamas reagieren demnach auf eine Hitzeperiode ähnlich wie Bulle und Schafbock mit einem Abfall der Vorwärtsbeweglichkeit bereits 1 Woche nach Hitzebeginn. Im Gegensatz zum Schafbock erfolgt der Abfall langsamer mit einem 4 Wochen späterem Minimum und somit auch einer Wiederherstellung der Ausgangswerte mit einer Verzögerung von 4 Wochen im Vergleich zum Schafbock (DUTT und HAMM, 1957; MOULE und WAITES, 1963; SMITH, 1971). Bei den Untersuchungen von DJUNAR (1965) wird auch bei Schafböcken eine verlängerte Rekonvaleszenzperiode bezogen auf die Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien von über 10 Wochen angegeben. ZIEGER (1998) konnte in seinen Untersuchungen an Schafböcken mit einer Hodenisolation eine verminderte Vorwärtsbeweglichkeit über die 10. Woche nach Beendigung der Isolation feststellen.

Somit scheint die Entwicklung der Spermienvorwärtsbeweglichkeit deutlich von der Intensität der Hitzeapplikation (Dauer und/oder Temperatur) abzuhängen. Die Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien scheint bei Lamas schon bei niedrigeren Temperaturen stärker auf eine Hitzebelastung zu reagieren als beispielsweise bei Schafböcken. So erreichten bei FOWLER und DUN (1966) Schafböcke mit normalen Skrota, die einer 21tägigen Hitzebelastung von 28-30,5°C ausgesetzt waren, 2 Wochen nach der Hitzeperiode wieder ihre Ausgangswerte. Bei Schafböcken mit vielen Hautfalten am Skrotum, bei denen dadurch die Thermoregulation der Hoden herabgesetzt ist, werden die Ausgangswerte auch über 4 Wochen nach der Hitzeperiode noch nicht wieder erreicht. Dieser Vergleich legt nahe, dass auch bei Lamas im Vergleich zum „normalen“ Schafbock die Thermoregulation der Hoden reduziert ist.

Die Ausgangswerte der morphologisch abnormen Spermien (26,25%) liegen innerhalb der Normwerte für Lamas. Nach GAULY und LEIDINGER (1995) liegt der Anteil morphologisch normaler Spermien bei 50,7-93,6%. BRAVO (2002) gibt Werte von 60-90% an. Da die Bildung der einzelnen Anomalien in dieser Studie nicht im Vordergrund stand, wurden die Anomalien geknickter, eingerollter und abgebrochener Spermien Schwanz zu den Schwanzanomalien zusammengefasst. Kopfveränderungen wurden nur dann erfasst, wenn sie im Lichtmikroskop deutlich zu erkennen waren. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil an Kopfanomalien in den gewonnenen Ejakulaten deutlich höher liegt (RATHORE und YEATES, 1967; ZIEGER, 1998).

Bei den untersuchten Lamahengsten konnte eine tendenzielle Zunahme der morphologischen Spermienanomalien 3 Wochen nach Beginn der Hitzeperiode beobachtet werden. In den Wochen 9-11 nach Beginn der Hitzeperiode wurden die durchschnittlich höchsten Werte

erreicht. 14 Wochen nach Beginn der Hitzeperiode (10 Wochen nach der Hitzephase) wurden die Ausgangswerte wieder erreicht. Diese Veränderungen waren jedoch nicht signifikant.

Die meisten Untersuchungen von morphologisch abnormen Spermien in der Folge einer Hitzebelastung bei Schafböcken können einen Anstieg 1-2 Wochen nach Beginn der Hitzebelastung feststellen (BARTH und BOWMAN, 1994; DJANUAR, 1965; DUTT und HAMM, 1957; MOULE und WAITES, 1963; RATHORE und YEATES, 1967; RATHORE, 1968). Die zeitliche Verzögerung des Auftretens morphologisch abnormer Spermien wird auf die relative Hitzeresistenz der epididymalen Spermien zurückgeführt, so dass, wenn man beim Schafbock 9-14 Tage für die Nebenhodenpassage ansetzt, die testikulären Spermienanomalien zu diesem Zeitpunkt erst im Ejakulat auftreten (BARTH und BOWMAN, 1994; BRADEN und MATTNER, 1970; HOWARTH, 1969).

Der bei den hier untersuchten Lamas im Vergleich sehr späte Anstieg der Gesamtzahl an morphologisch abnormen Spermien ist entweder auf die Methodik zurückzuführen, so dass leichte Veränderungen vor allem am Spermienkopf erst zu einem späteren Zeitpunkt als solche erkannt wurden, oder auf eine im Vergleich zum Schafbock verlängerte Nebenhodenpassage bei Lamas. Andererseits gibt es auch Literaturangaben, in denen beim Schafbock morphologische Spermienanomalien erst später nach einer Hitzeperiode im Ejakulat auftreten. FOWLER und DUN (1966) berichten von einem Anstieg der morphologisch abnormen Spermien erst 17 Tage, ASHOKE und RATHORE (1969) sogar erst 19 Tage nach einer Hitzebelastung.

Die Zeitspanne nach einer Hitzebelastung bis zum Erreichen der Ausgangswerte morphologisch abnormer Spermien ist abhängig von Schwere und Dauer der Schädigung des Hodengewebes. Beim Schafbock wird bei Zerstörung des Hodengewebes bis auf die Spermatogonien ein Zeitraum von durchschnittlich 9 Wochen angegeben (7 Wochen Spermio-genese, 2 Wochen Nebenhodenpassage) bis wieder die Ausgangswerte erreicht werden (SETCHELL, 1991).

Der Ausgangswert an morphologisch abnormen Spermien bei Schafböcken wurde nach einer einwöchigen Hitzebelastung von 32,2°C nach 8 Wochen wieder erreicht (DUTT und HAMM, 1957). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch MOULE und WAITES (1963). Hier konnten die Ausgangswerte nach 53 Tagen wieder beobachtet werden.

Bei den hier untersuchten Lamas wurde 10 Wochen nach der Hitzephase das Ausgangsniveau wieder erreicht. Diese etwas verzögerte Regeneration im Vergleich zum Schafbock kann entweder auf die längere und somit massivere Hitzeeinwirkung (4 Wochen), auf die mangelhafte testikuläre Thermoregulation der Lamas im Vergleich zum Schafbock und somit

stärkerer Schädigung des Hodengewebes oder auf eine vom Schafbock unterschiedliche Spermatogenesedauer bei Lamas zurückzuführen sein.

Bei der Betrachtung der einzelnen Spermienanomalien fällt auf, dass es nicht zu dem typischerweise chronologischen Auftreten der einzelnen Anomalien, wie beim Schafbock beschrieben (BARTH und BOWMAN, 1994), gekommen ist.

Tendenziell konnte aber bei den Lamas eine Erhöhung des Prozentsatzes loser Spermienköpfe im Ejakulat schon eine Woche nach Hitzebeginn beobachtet werden. Gleichzeitig gab es tendenziell eine höhere Anzahl an Spermien mit Plasmotropfen in der Hitzeperiode. Diese Veränderungen gehören zu den sekundären Missbildungen (BUSCH et al., 1991), die durch Noxen (z.B. thermische Belastung) während der Wanderung durch den Nebenhoden hervorgerufen werden (STOLLA, 1984) und somit schon vor den oben beschriebenen 1-2 Wochen Nebenhodenpassage nach Hitzebeginn im Ejakulat sichtbar werden.

Bemerkenswert ist auch, dass der Anstieg der Kopfmissbildungen im Versuchsverlauf als einzige Missbildung Signifikanzniveau erreichte.

Die in der Literatur beschriebenen individuellen Unterschiede sowohl in der Art der auftretenden Anomalien als auch in der Menge der Anomalien nach einer Hitzebelastung (BARTH und BOWMAN, 1994; DJANUAR, 1965; GLOVER und YOUNG, 1963; SMITH, 1971) lassen sich auch bei den vier in dieser Studie untersuchten Lamahengsten feststellen.

Während ein Hengst keinen Anstieg der Spermienanomalien zu verzeichnen hatte, konnten bei den anderen Hengsten ein zum Teil massiver Anstieg der morphologisch anormalen Spermien bis zu einem Maximalwert von 81% festgestellt werden.

Die individuellen Unterschiede in den Spermaparametern spiegeln sich auch in der Hodenhistologie wieder, wo individuell unterschiedlich stark geschädigtes Hodengewebe zu beobachten ist.

5.3.2 Skrotaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen

Die Körperoberflächentemperaturen des Skrotums von Schafböcken und Bullen sind abhängig von der Umgebungstemperatur (KASTELIK et al., 1996a, 1996b; 1997). Auch bei Lamas zeigen sich deutliche Unterschiede in den Skrotaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen. In der vorliegenden Untersuchung konnten bei einer Umgebungstemperatur von 30°C eine skrotale Oberflächentemperatur von 34,4°C gemessen werden, die bei einer Umgebungstemperatur von 20°C um 1,4°C absank. Schafböcke weisen bei einer Umgebungstemperatur von 24-26°C Skrotaltemperaturen von 30,1°C auf

(COULTER et al., 1988). Bei Bullen werden ähnliche Werte wie beim Schafbock erreicht (KASTELIK et al., 1996a, 1997).

Die Körperoberflächentemperaturen des Skrotums liegen bei den untersuchten Lamas deutlich über den in der Literatur angegebenen Werten für Schafböcke und Bullen. HEATH et al. (2001) geben in ihren Untersuchungen bei Alpakas für die Skrotaltemperatur den maximalen Messwert an. Dieser liegt bei Umgebungstemperaturen von 22,5°C bei 34,97°C (geschorene Tiere) bzw. bei 36,28°C (ungeschorene Tiere). Bei Umgebungstemperaturen von 31,5°C liegen die Maximalwerte der Skrotaltemperatur bei geschorenen Alpakas bei 35,38°C und bei ungeschorenen bei 37,23°C. Diese für die Lamas und Alpakas deutlich höheren Werte als bei Schafböcken sind wahrscheinlich auf die anatomischen Besonderheiten der Neuweltkameliden zurückzuführen, da hier das Skrotum nicht pendelnd wie bei Schafbock und Bulle thermoregulatorisch günstig gelegen ist (BRAVO, 2002; FOWLER, 1998), sondern eng am Körper anliegt und somit die Thermoregulation im Vergleich zu den oben genannten Tierarten eingeschränkt ist. Zudem ist die Haut des Skrotums der Neuweltkameliden sehr dick und macht eine weitere Einschränkung der Thermoregulation wahrscheinlich. Diese körpernahe Lage des Skrotums und die dicke Haut könnte eine Adaptation darstellen, um erhebliche Verletzungen bei Hengstkämpfen zu vermeiden (FOWLER, 1998).

In der vorliegenden Arbeit zeigten die geschorenen Hengste sowohl in der Hitze- als auch in der Erholungsphase niedrigere Skrotaltemperaturen als die ungeschorenen Tiere. Das Skrotum der Lamas liegt in einem der thermalen Fenster, die zur Wärmeabgabe genutzt werden (FOWLER, 1998). Steigt nun die Umgebungstemperatur und somit die Körpertemperatur an, muss vom Tier vermehrt Wärme abgegeben werden (JESSEN, 2000). Bei geschorenen Tieren ist dies am gesamten Körper möglich, während die Wärmeabgabe bei ungeschorenen Lamas auf die thermalen Fenster reduziert ist (GERKEN, 1997b). Daraus folgt, dass auf kleinerer Fläche mehr Wärme abgegeben werden muss und diese thermalen Fenster und somit auch das Skrotum bei den ungeschorenen Tieren wärmer sind als bei den geschorenen. HEATH et al. (2001) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass geschorene Alpakas sowohl bei 22,5°C als auch bei 31,5°C Umgebungstemperatur niedrigere maximale Skrotaltemperaturen aufwiesen als ungeschorene Tiere. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Bei den hier vorliegenden Untersuchungen zeigten die ungeschorenen Tiere bei 30°C hochsignifikant höhere mittlere Skrotaltemperaturen als die geschorenen Lamahengste, der Unterschied zwischen den beiden Schurtypen betrug jedoch nur 0,37°C. Auch bei einer Umgebungstemperatur von 20°C unterschieden sich die Skrotaltemperaturen der beiden Schurtypen hochsignifikant, wobei der Unterschied hier mit 0,51°C etwas höher lag.

Wichtig für eine normale Spermatogenese ist bei den meisten Säugetieren, dass die Hodeninnentemperatur relativ gleichmäßig zwischen 2°C und 6°C unter der Körpertemperatur liegt (SETCHELL, 1978; WAITES, 1970). Dabei hat die Skrotaltemperatur nur untergeordnete Bedeutung (KASTELIK et al., 1995). COULTER et al. (1988) beschreiben beim Schafbock allerdings eine signifikante Korrelation zwischen der skrotalen Oberflächentemperatur und der Hodeninnentemperatur ($r=0,91$; $p<0,01$) mit einer Differenz von 4,8°C. KASTELIK et al. (1995) hingegen können bei Bullen nur eine geringe Korrelation zwischen Skrotaltemperatur und Hodeninnentemperatur feststellen und folgern hieraus, dass ein Rückschluss von der skrotalen Oberflächentemperatur auf die Hodeninnentemperatur nicht oder nur bedingt möglich ist. Dennoch steigt bei höherer Umgebungstemperatur sowohl die skrotale Oberflächentemperatur (KASTELIK et al., 1996b; 1997) als auch die intratestikuläre Temperatur (FOOTE et al., 1957; KASTELIK et al., 1997; MOULE und KNAPP, 1950; SOD-MORIAH et al., 1974), wobei beim Schafbock die Angaben über die Unterschiede zwischen skrotaler Oberflächentemperatur und Hodeninnentemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen in der Literatur zwischen 4,8°C und 2,9°C schwanken (COULTER et al., 1988; KASTELIC et al., 1996a, 1997).

Die Differenz zwischen der Skrotal- und der Rektaltemperatur wird von COULTER et al. (1988) beim Schafbock mit 8,9°C angegeben. Durch die höheren Skrotaltemperaturen liegt diese Differenz bei Lamas nur bei 4,18°C.

FOOTE et al. (1957) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass bei Umgebungstemperaturen zwischen 21,1°C und 35°C ungeschorene Schafböcke höhere Hodeninnentemperaturen aufweisen als geschorene Böcke (36,33°C bzw. 35,36°C). Die Differenzen der Hodeninnentemperaturen zwischen geschorenen und ungeschorenen Böcken nahmen mit zunehmender Umgebungstemperatur zu.

Ob die hier untersuchten geschorenen Lamahengste tatsächlich auch niedrigere Hodeninnentemperaturen haben als die ungeschorenen Tiere ist nicht eindeutig zu klären.

Erhöhte skrotale Temperaturen und abnorme skrotale Oberflächentemperaturen werden aber mit einer reduzierten Spermienproduktion und einer reduzierten Fruchtbarkeit in Zusammenhang gebracht (BRITO et al., 2004; LUNSTRA und COULTER, 1997; PUROHIT et al., 1985). Bullen mit einem abnormen Thermogramm des Skrotums weisen mehr morphologisch abnorme Spermien im Ejakulat auf und sind in der Fruchtbarkeit reduziert (LUNSTRA und COULTER, 1997). Daher kann auch bei den untersuchten Lamahengsten

aufgrund der Thermographieaufnahmen auf eine reduzierte Fertilität in der Hitzeperiode geschlossen werden, da die Skrotaltemperatur hier um 1,4°C höher liegt. Dies bestätigt sich auch in den in dieser Arbeit erfassten Spermaparametern, der Hodenhistologie und der Spermatogonienproliferation.

5.3.2.1 Skrotaler Temperaturgradient

Für Bulle und Schafbock ist ein von dorsal nach ventral absteigender Temperaturgradient am Skrotum bekannt (KASTELIK, 1995; KASTELIK et al., 1996a, 1997; LUNSTRA und COULTER, 1997)

Zur Ermittlung des skrotalen Temperaturgradienten bei Lamas wurden 5 Einzelmesspunkte auf einer senkrechten Linie durch jeden Hoden verwendet. Messpunkt 1 war der am weitesten dorsal, Messpunkt 5 der am weitesten ventral gelegene Wert. Die Tatsache, dass in der Erholungsphase der Messpunkt 5 im Vergleich zu Messpunkt 4 wieder an Temperatur zunimmt, liegt an dem nicht mehr so stark relaxierten Skrotum, so dass der Messpunkt 5 zu nah am Körper gewählt wurde. KASTELIC et al. (1995) verwendeten deshalb für die Ermittlung des skrotalen Temperaturgradienten beim Bullen Messpunkte, die 3 cm vom oberen und 3 cm vom unteren Rand des Skrotums entfernt waren. Dies war leider bei den Lamas aufgrund der kleineren Hodengröße nicht möglich.

Deutlich ist zu erkennen, dass es auch beim Hoden von Lamas einen Temperaturgradienten von dorsal nach ventral gibt. Die Temperaturdifferenz beträgt in der Hitzephase 0,92°C und in der Erholungsphase 0,8°C bzw. 1,1°C (Messpunkt 1 - Messpunkt 4). Erwartungsgemäß ist der skrotale Temperaturgradient bei Lamas aufgrund des dem Körper enganliegenden Skrotums deutlich niedriger als beim Schafbock (3,5°C) oder Bullen (2,1°C) (KASTELIC et al., 1996a). KASTELIC et al. (1997) konnten in ihren Untersuchungen bei Bullen feststellen, dass der Temperaturgradient mit steigender Umgebungstemperatur von 15°C auf 25°C um 0,2°C abnimmt. Verwendet man bei den Lamas die Differenzen zwischen Messpunkt 1 und 4, so kann ein Unterschied in den Skrotaltemperaturgradienten von 0,18°C in den beiden Temperaturphasen beobachtet werden.

Die Temperaturgradienten von Skrotum und Hoden sind bei Bulle und Schafbock entgegengesetzt und resultieren in einer einheitlichen Hodeninnentemperatur. Dies ist auf die Blutversorgung des Hodens zurückzuführen (KASTELIC et al., 1996a). Verringert sich nun der skrotale Temperaturgradient, kann die einheitliche Hodeninnentemperatur nicht mehr aufrecht erhalten werden. Daher kann bei den untersuchten Lamahengsten, wie auch bei

Bullen mit reduzierten skrotalen Temperaturgradienten, eine reduzierte Fruchtbarkeit beobachtet werden (LUNSTRA und COULTER, 1997).

5.3.3 Hitzeeinfluss auf die Hodenhistologie

Der Literaturvergleich von histologischen Veränderungen im Hodengewebe nach Hitzebelastung ist schwierig, da in der Literatur verschiedene Hitzeeinwirkungen, bezogen auf Temperatur, Applikationsart und Länge der Hitzebelastung verwendet wurden. Die meisten Literaturangaben beziehen sich zudem auf die Tierart Ratte, bei der im Gegensatz zum Lama 13 Stadien des Hodenepithels unterschieden werden.

Bei der vorliegenden Untersuchung konnte bei Lamas eine deutliche Abnahme der Zellen/Tubulus nach der Hitzeperiode beobachtet werden. Eine solche Abnahme der Gesamtzellzahl im Hodenepithel nach einer Hitzebelastung wurde auch bei Ratten beschrieben (BYERS und GLOVER, 1984; CHOWSHURY und STEINBERGER, 1964; STEINBERGER und DIXON, 1959), wobei in den Untersuchungen von MAINS und WAITES (1977) bei Ratten, deren Skrota im Wasserbad für eine Stunde unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt wurden, Veränderungen des histologischen Erscheinungsbildes erst ab Temperaturen von über 40°C auftraten.

In den durchgeführten Untersuchungen konnten individuelle Unterschiede bei dem histologischen Erscheinungsbild der Hoden der einzelnen Lamahengste nach der Hitzeperiode ausgemacht werden, wobei z.B. der Prozentsatz der zerstörten Tubuli, die keinem Stadium zugeordnet werden konnten, direkt nach der Hitzeperiode zwischen 10,4% und 75,6% schwankten. BOWLER (1972) berichtet bei Ratten ebenfalls von individuell unterschiedlichen histologischen Veränderungen des Hodengewebes auf eine Hitzebelastung (mehrmaliges skrotales Wasserbad, 43,5°C für 20 min, Abstand 41 Tage), die vor allem den Zerstörungsgrad des Keimepithels betrafen. Diese individuellen Unterschiede werden auch von MEISTRICH et al. (1973) bestätigt, der nach einer Ganzkörperhitzebelastung von 35°C über 5-35 Tage die histologischen Veränderungen von Mäusehoden untersuchte. Daraus ist zu erkennen, dass Individuen die Hitzebelastung der Hoden unterschiedlich gut kompensieren und die Schädigung des Hodengewebes bei gleicher Hitzebelastung individuell unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann. Diese individuellen Unterschiede in der Hodenhistologie spiegeln sich auch in den individuell unterschiedlichen Spermaparametern wieder.

Mögliche Erklärungsansätze hierfür könnten die individuelle Eigenschaft der Hengste zur Thermoregulation allgemein (Alter, Bewollung, Körpergröße) (DUTT und HAMM, 1957;

FOOTE et al., 1957; SHEMI und KAPLANSKI, 1994; TURNER, 1980) oder zur skrotalen Thermoregulation (Anatomie und Morphologie des Hodens und des Skrotums, Skrotum- und Hodengröße, skrotale Bewollung) (BRITO et al., 2004; FOWLER und DUN, 1966; SANFORD et al., 1993; WAITES und VOGELMAYR, 1963) sein. Die allgemeine Thermoregulation als alleiniger Erklärungsansatz für die individuell unterschiedliche Hitzeschädigung des Hodengewebes scheint unwahrscheinlich, da die Rektaltemperaturen, das Alter und die Körpergröße zwar individuell voneinander differierten, jedoch in keinem Zusammenhang mit der Spermaqualität bzw. der Hodenhistologie zu stehen scheinen. Auch die individuellen Unterschiede in den erfassten Parametern Hodengröße und Skrotaltemperatur zeigen keinen einheitlichen Zusammenhang mit den Reproduktionsparametern. Viele der Thermoregulationsmechanismen des Hodens wurden jedoch mithilfe dieser Parameter nicht erfasst, ebenso wenig die entscheidende Hodeninnentemperatur, so dass mit den durchgeführten Untersuchungen bezüglich der individuellen Möglichkeit zur Thermoregulation der Hoden bei Lamas keine umfassende Aussage getroffen werden kann. Zudem gibt es bei Lamas auch im physiologischen Hodengewebe große individuelle Unterschiede in Bezug auf die Anzahl normaler Tubuli und auf das Hodengewicht (HEATH et al., 2002), für die ebenfalls noch keine Erklärung vorliegt.

CHOWDHURY und STEINBERGER (1964) konnten in ihren Untersuchungen bei Ratten, deren Skrota für 15 min auf 43°C erhitzt wurden, nach 26 Tagen einen Abfall der Stadien II, XII und XIII nachweisen, wobei das Stadium XII dem Stadium VI und das Stadium XIII dem Stadium VII des Lamas entspricht. Stadium VI zeigte in unseren Untersuchungen 2 Wochen nach der Hitzebelastung signifikant niedrigere Werte als die Kontrollgruppe, wobei 6 Wochen nach der Hitzebelastung signifikant höhere Werte erreicht wurden. Dabei waren die niedrigeren Frequenzen von Stadium VII im Vergleich zur Kontrollgruppe zu allen 4 Probenzeitpunkten signifikant.

BOWLER (1972) fand bei Ratten nach mehrmaliger Hitzebelastung (Abstand jeweils 42 Tage, bei 43,5°C, 20 min, skrotales Wasserbad), 42 Tage (6 Wochen) nach der letzten Hitzebehandlung eine signifikant niedrigere Frequenz von Stadium VII und VIII, die Stadien des „Sperm-release“ und kurz davor. Dies deckt sich mit den vorliegenden Untersuchungen, in denen die Frequenzen der Stadien II/III (entspricht Stadium V-VII der Ratte) und VI (entspricht Stadium VIII) bei allen vier Probenzeitpunkten deutlich verringert waren.

Die vermehrt gefundenen Riesenzellen mit mehreren Zellkernen nach der Hitzebelastung können sowohl in kryptorchiden Hoden (YIN et al., 1997) als auch in hitzugeschädigten Hoden (CHOWDHURY und STEINBERGER, 1964; STEINBERGER und DIXON, 1959) beobachtet werden, so dass sie als typische Folge einer Hitzebelastung des Hodengewebes aufzufassen sind. Die mehrkernigen Riesenzellen im Hodengewebe konnten von YIN et al. (1997) in zwei Kategorien eingeteilt werden. Histochemische Färbungen von Apoptose konnten zeigen, dass es Riesenzellen gibt, die sich positiv anfärben und andere, die in der Färbung negativ waren.

Auch bei dem Auftreten von mehrkernigen Riesenzellen konnten bei den untersuchten Lamas große individuelle Schwankungen festgestellt werden. Die Tiere mit der höchsten Anzahl an diesen Zellen waren auch die mit der massivsten Schädigung des Hodengewebes (große Anzahl an zerstörten Tubuli).

5.3.4 Proliferation der Spermatogonien

5.3.4.1 Ki-67 Färbung der Spermatogonien im physiologischen Lamahoden

Bei den untersuchten Lamas waren in der Kontrollgruppe 30,31 % der Spermatogonien je Tubulusquerschnitt Ki-67 positiv. Ähnliche Prozentzahlen werden auch beim Bullen erreicht, wobei sich 29,9% der Kerne bei den A-Spermatogonien, 44,7% bei den I-Spermatogonien und 47,1% bei den B-Spermatogonien positiv darstellen (WROBEL et al., 1996). STEGER et al. (1998) finden beim Menschen 26,6% Ki-67 positive Spermatogonien, wobei auch hier die Anzahl der gefärbten B-Spermatogonien ($43,8 \pm 15,7\%$) signifikant höher liegt als die der A-Spermatogonien ($22,1 \pm 8,9\%$). Die von KIMURA et al. (2003) gefundenen Werte von 24,9% positiver Spermatogonien in humanem Hodengewebe liegen leicht unter den Werten von STEGER et al. (1998).

Die Anfärbung der Spermatogonien in den Tubulusanschnitten im Lamahoden ist nicht immer einheitlich verteilt, sondern es gibt Bereiche mit Ki-67 positiven Spermatogonien und Bereiche mit Ki-67 negativen Spermatogonien im selben Tubulusquerschnitt. WROBEL et al. wiesen 1996 diese unregelmäßige Verteilung der Ki-67 gefärbten Spermatogonien je Tubulusquerschnitt beim Bullen nach. Die Autoren konnten dafür keine Erklärung finden, da normalerweise in physiologischem Hodengewebe eine Synchronisation des Keimepithels vorliegt (SCHNORR und KRESSIN, 2001).

Die in den untersuchten Lamahoden in jedem Stadium beobachteten Ki-67 positiven Spermatogonien, bestätigen die Aussage von WROBEL et al. (1993), dass bei normaler Spermatogenese in allen Stadien des Hodenepithels eine Proliferation der Spermatogonien stattfindet.

STEGGER et al. (1998) konnten bei ihren Untersuchungen an humanem Hodengewebe keine stadienspezifischen Unterschiede der Ki-67 positiven Spermatogonien feststellen (Stadium I-III: $29,9 \pm 13,4\%$, Stadium IV-VI: $23,5 \pm 10,4\%$). Bei Bullen konnte in den Stadien nach dem „Sperm-release“ eine geringe Anzahl an Ki-67 positiven Spermatogonien nachgewiesen werden, während es in den Stadien vor dem „Sperm-release“ zu einem Anstieg der Ki-67 positiven Spermatogonien kommt, wobei im „Sperm-release“ selbst die Prozentzahl an gefärbten Spermatogonien am höchsten ist (WROBEL et al., 1993). Bei Lamas konnte eine ähnliche Verteilung im Hodenepithel gefunden werden. Stadium IV („Sperm-release“) zeigte hierbei die meisten Ki-67 positiven Spermatogonien, während das direkt anschließende Stadium V den niedrigsten Prozentsatz aufwies.

Bei Lamas kommt es wie beim Bullen (WROBEL et al., 1996), im Gegensatz zum Menschen (STEGGER et al., 1998), auch zu einem Anfärben der postspermatogonischen Zellen.

5.3.4.2 Hitzeinfluss auf die Proliferation der Spermatogonien

Pachytäne Spermatozyten und Spermatiden sind die hitzeempfindlichsten Zellen im Hoden. Wenn der Grad der Hitzeinwirkung aber verstärkt wird (durch höhere Temperatur oder durch verlängerte Temperatureinwirkung) können auch andere Zelltypen des Hodens betroffen sein (SETCHELL, 1998).

Viele Autoren beschreiben die relative Hitzeunempfindlichkeit von Spermatogonien (CHOWSHURY und STEINBERGER, 1964, 1970; LUE et al., 2000; STEINBERGER und DIXON, 1959). Diese Erkenntnisse beruhen zumeist auf dem histologischen Erscheinungsbild der Spermatogonien und deren Anzahl je Tubulusquerschnitt, die nach Hitzebelastung der Hoden (Hoden von Ratten, skrotales Wasserbad 43°C bzw. $41\text{-}45^{\circ}\text{C}$, 15 min) unverändert sind. Andere Autoren hingegen konnten in ihren Untersuchungen Schädigungen der Spermatogonien nach Hitzebelastung feststellen (BRADEN und MATTNER, 1970; MOULES und WAITES, 1963; WAITES und ORTAVANT, 1967, 1968). WAITES und ORTAVANT (1967 und 1968) konnten bei Schafböcken, deren Hoden für 140-150 min auf $40,2^{\circ}\text{C}$ erhitzt wurden, feststellen, dass sich die B-Spermatogonien 12-48 Stunden nach der Hitzebelastung in mitotischen Teilungsbildern anhäufen und im weiteren Verlauf in der Metaphase oder Prophase zugrunde gehen, wobei bei den A- und I-Spermatogonien keine

signifikante Hitze einwirkung zu erkennen war. MOULES und WAITES (1963) und BRADEN und MATTNER (1970) schlossen aus dem Auftreten von Spermienanomalien zwischen dem 14. und 50. Tag nach Hitzebelastung, dass die Zellen des Hodenepithels von den A₁-Spermatogonien aufwärts geschädigt wurden.

In der hier vorliegenden Untersuchung an Lamahoden konnte gezeigt werden, dass eine vierwöchige Hitzebelastung der Hengste bei 30°C einen starken Einfluss auf die Proliferationsrate der Spermatogonien hat. Nach der Hitze phase ist die Proliferationsrate der Spermatogonien verringert (mehr Tubuli mit 0% positiven Spermatogonien, weniger Tubuli mit >50% positiven Spermatogonien). Im weiteren Verlauf kam es zu einer Reduktion der Tubuli mit 0% proliferierenden Spermatogonien und einer Zunahme der Tubuli mit hoher Proliferationsrate der Spermatogonien. Sechs Wochen nach der Hitze phase wurden etwas bessere Werte erzielt als in der Kontrollgruppe. Dies könnte auf die niedrige Anzahl der Kontrolltiere zurückzuführen sein, da Kontrolltier 1 (K1) wesentlich schlechtere Werte aufwies als die beiden anderen Kontrolltiere und somit den Wert der Kontrollgruppe senkte.

Aus den gewonnenen Ergebnissen kann gefolgert werden, dass die Abnahme der Spermatogenese nach einer Hitzebelastung, die durch Reduzierung der Spermiedichte im Ejakulat gekennzeichnet ist, zum einen auf eine erhöhte Apoptoserate (LUE et al., 2002; SHIKONE et al., 1994; YIN et al., 1997) und zum anderen auf eine verringerte Mitoserate der Spermatogonien zurückzuführen ist.

Bei allen Stadien kam es nach der Hitzeperiode zu einem deutlichen Abfall der Ki-67 positiven Spermatogonien. Zwei Wochen später zeigten vor allem die Stadien V-VIII, d.h. die Stadien nach dem „Sperm-release“, einen weiteren Rückgang der Spermatogonienproliferation. Nach weiteren zwei Wochen konnten bei allen Stadien extreme Zunahmen der Proliferation beobachtet werden, wobei bei den Stadien V-VIII Werte bis über die Kontrollwerte hinaus erreicht wurden.

Sechs Wochen nach Hitzebelastung zeigten vor allem die Stadien I-IV einen weiteren Anstieg der Proliferationsraten der Spermatogonien, der hier über den Werten der Kontrolltiere und über den Werten der Stadien V-VIII lagen. Damit ist 6 Wochen nach der Hitze phase wieder die Verteilung der Spermatogonienproliferation in den Stadien erreicht, wie sie von WROBEL et al. (1993) für den normalen Bullenhoden beschrieben wird und wie sie auch in der Kontrollgruppe der Lamas vorgefunden wurde.

5.3.5 Zusammenfassende Betrachtung des Hitzeeinfluss auf Reproduktionsparameter

Anhand der erfassten Parameter wird deutlich, dass sich die Thermoregulation der Hoden bei Lamas anders darstellt als bei Schaf und Rind. Die Oberflächentemperaturen des Skrotums sind höher und der Temperaturgradient des Hodens ist kleiner als bei den anderen zwei Tierarten bei vergleichbaren Umgebungstemperaturen. Dies weist zumindest bedingt auch auf eine höhere Hodeninnentemperatur hin. Wahrscheinlich ist diese reduzierte Thermoregulation des Lamas unter anderem auf das nicht pendelnde und dem Körper enganliegende Skrotum zurückzuführen, da auch bei Schafen und Bullen die Länge des Skrotums einen erheblichen Einfluss auf die Thermoregulationsmöglichkeiten und somit auf die Spermienqualität hat (BRITO et al., 2004; SANFORD et al., 1993). Bei den Spermaparametern fällt auf, dass sowohl die Spermiedichte, die Vorwärtsbeweglichkeit als auch die Anzahl morphologisch normaler Spermien zwar 1-2 Wochen später als beim Schaf absinkt, aber bei allen drei Merkmalen deutlich niedrigere Minimalwerte erreichen, die später als bei Schaf und Rind auftreten. Auch die Rekonvaleszenz ist beim Lama verlängert. Die beim Lama erreichten Werte werden beim Schafbock erst bei wesentlich intensiveren Hitzebelastungen (höhere Temperaturen) erreicht. Daraus ist zu schlussfolgern, dass Lamas im Bezug auf die Spermaqualität weniger hitzetolerant sind als z. B. Schafböcke.

In der Hodenhistologie lässt sich erkennen, in welchem Ausmaß die Hoden durch die Hitzephase geschädigt wurden. Diese Schädigungen werden in der Literatur vor allem bei Ratten und Mäusen beschrieben, deren Skrota lokal auf vergleichsweise hohe Temperaturen erhitzt wurden.

In der vorliegenden Untersuchung erreicht die Proliferation der Spermatogonien erst 6 Wochen nach der Hitzephase wieder vergleichbar normale Werte. Daher kann auch durch die Zeit bis zur vollständigen Regeneration der Spermawerte nicht auf die Dauer der Spermatogenese und Nebenhodenpassage von Lamas geschlossen werden.

Die individuellen Unterschiede sowohl bei den Spermaparametern als auch in der Hodenhistologie sind größer als der Einfluss des Schurtyps. Daher ist es bei den hier verwendeten Tier- und Probenzahlen schwierig, Aussagen über den Einfluss des Schurtyps auf die oben genannten Parameter zu machen. Bei den Parametern wie Skrotaltemperatur und Temperaturgradient, bei denen für alle Versuchstiere Werte erhoben werden konnten, ist der thermoregulatorische Vorteil der Schur zu erkennen.

5.4. Körperoberflächentemperaturen in den beiden Temperaturphasen

5.4.1 Oberflächentemperaturen des Anuskegels in den beiden Temperaturphasen

Beim Lama ist bei hohen Umgebungstemperaturen eine vermehrte Hautdurchblutung und Kühlung durch Verdunstung vor allem für die Perinealgegend, zwischen den Beinen und im ventralen Teil des Abdomens beschrieben (GERKEN, 1997b; PUGH et al., 1997). Der Anuskegel der Lamas liegt somit in einem thermalen Fenster (FOWLER, 1998), so dass seine Oberflächentemperaturentwicklung im Versuchsverlauf beispielhaft für die Temperaturen in den thermalen Fenstern verwendet werden kann.

Die Oberflächentemperaturen des Anus waren in der Hitzephase signifikant höher als in der Erholungsphase. HEATH et al. (2001) konnten bei Alpakas ebenfalls eine Zunahme der Oberflächentemperatur in den thermalen Fenstern bei steigenden Umgebungstemperaturen feststellen. Die Autoren verwendeten den medialen Oberschenkel als Messbereich.

Der Schurtyp beeinflusst die Oberflächentemperaturen am Anuskegel signifikant, wobei die ungeschorenen Tiere höhere Temperaturen aufweisen als die geschorenen Hengste. Diese Verhältnisse sind auch beim Alpaka bekannt (NAVARRE et al., 2001). Im Gegensatz zu den Untersuchungen von NAVARRE et al. (2001) ist die Differenz der Oberflächentemperaturen am Anuskegel zwischen geschorenen und ungeschorenen Tieren bei den beiden verwendeten Umgebungstemperaturen gleich. NAVARRE et al. (2001) konnten bei höheren Umgebungstemperaturen auch größere Differenzen zwischen den Schurtypen feststellen.

Die höheren Temperaturen bei den ungeschorenen Tieren lassen sich auf physiologischer Ebene erklären. Da bei ungeschorenen Tieren die Thermoregulation auf eine geringe Fläche (thermale Fenster) begrenzt ist (FOWLER, 1998), muss das Tier hier mehr Wärme auf geringerer Fläche abgeben. Gelingt dies nicht in ausreichendem Maße, steigt die Körpertemperatur. Dies zeigt sich auch in den signifikanten und hohen Korrelationen zwischen den Oberflächentemperaturen in den thermalen Fenstern (in der vorliegenden Untersuchung Skrotum und Anuskegel) und der Rektaltemperatur. Diese Korrelationen wurden auch von NAVARRE et al. (2001) bei Alpakas festgestellt. Durch die Schur kann die Luft besser an den thermalen Fenstern zirkulieren und die Hitze somit besser abtransportiert werden (FOWLER, 1998) und an den geschorenen Flächen kann zusätzlich Wärme abgegeben werden (GERKEN, 1997b). Daraus resultiert eine niedrigere Oberflächentemperatur im Bereich der thermalen Fenster für geschorene Tiere.

5.4.2 Körperoberflächentemperaturen des Körpers in den beiden Temperaturphasen

Da die Verteilung der Oberflächentemperaturen bei Tieren sehr unregelmäßig sein kann und somit Messungen an einem einzigen Punkt meist sehr ungenau sind (KNÍŽKOVÁ et al., 2002), wurden zur Auswertung runde Flächen mit jeweils 357 Einzelmesspunkten verwendet. In der Literatur wird beschrieben, dass mit steigenden Umgebungstemperaturen die Körperoberflächentemperaturen bei Tieren zunimmt. Hierzu gibt es Untersuchungen an Rindern (BAROW, 1998; KNÍŽKOVÁ et al., 2002), Schafen (BLAXTER et al., 1958), Schweinen (LOUGHMILLER et al., 2001) und Nagetieren (KLIR et al., 1990; PHILLIPS und HEATH, 2001). Zu dieser steigenden Körperoberflächentemperatur kommt es, da es bei Wärmebelastungen von Tieren unter anderem zu einer vermehrten Hautdurchblutung und Schweißbildung kommt (BLAXTER et al., 1958), um durch Konvektion und Verdunstung abhängig von der Felldicke vermehrt Wärme an die Umgebung abzugeben (JESSEN, 2000). Dies konnte auch bei Lamas bestätigt werden, die in der Hitzephase signifikant höhere Oberflächentemperaturen aufwiesen als in der Erholungsphase.

Die geschorenen Regionen der Lamas waren in beiden Temperaturphasen signifikant wärmer als die ungeschorenen Regionen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Wärmeabgabe von Tieren an die Umgebung abhängig von der Felldicke ist (JESSEN, 2000). In dicht bewollten Regionen wird die Wärme nicht durch das Fell nach außen geleitet und kann somit mit der Thermographieaufnahme nicht erfasst werden. GERKEN (1997b) konnte bei Lamas eine deutliche Zunahme der Körperoberflächentemperatur nach der Schur feststellen, wobei handgeschorene Tiere nur eine um 5% höher Oberflächentemperatur aufwiesen als ungeschorene Tiere. Erst bei maschinengeschorenen Tieren (Faserlänge ≤ 1 cm) konnte eine deutliche Zunahme der Körperoberflächentemperatur im Rumpfbereich um 23% (von 26,58°C auf 32,76°C bei einer Umgebungstemperatur von 25-27°C) beobachtet werden. Geschorene Schafe weisen bei einer sehr kurzen Schur bei einer Umgebungstemperatur von 30°C Körperoberflächentemperaturen von über 36°C auf (BLAXTER et al., 1958). Die geschorenen Regionen der Lamas lagen in der Hitzephase maximal bei 31,1°C. Diese großen Unterschiede zwischen den Tierarten sind entweder auf die Schur zurückzuführen, da bei den Lamas eine Restvlieslänge von 1 cm vorhanden war, oder auf eine schlechtere Thermoregulation der Schafe im Vergleich zum Lama. Darauf weisen auch die deutlich schlechteren physiologischen Parameter der Schafe bei vergleichbar hohen Umgebungstemperaturen hin (siehe Kapitel 5.2).

Bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Lamas konnten im Rumpfbereich Temperaturunterschiede zwischen den Schurtypen von 3,5°C festgestellt werden. Diese Werte

liegen deutlich unter der von GERKEN (1997b) angegebenen Differenz zwischen vollbewollten und geschorenen Tieren (6,18°C). Diese höhere von GERKEN (1997b) beobachtete Differenz ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Oberflächentemperaturen direkt nach der Schur gemessen wurden und somit eine Adaptation des geschorenen Tieres an die Umgebungstemperatur noch nicht stattgefunden hat.

5.5 Hitzeeinfluss auf Hormonwerte

5.5.1 Schilddrüsenhormone

Die Konzentrationen an T_3 im Blutserum lagen im gesamten Versuchsablauf in den von SMITH et al. (1989) für Lamas angegebenen physiologischen Bereich von 45-414 ng/dl. FOWLER und ZINKL (1989) dagegen grenzen die Normwerte von Neuweltkameliden etwas weiter ein und geben einen physiologischen Normbereich von 108-277 ng/dl an.

In der Hitzephase (92,71 ng/dl) konnten signifikant niedrigere T_3 -Konzentrationen gemessen werden, als in der Erholungsphase (121,49 ng/dl). Die in der Hitzephase erreichten Werte liegen nach SMITH et al. (1989) im Normbereich. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass Lamas Umgebungstemperaturen von 30°C physiologisch gut kompensieren können.

Einen Abfall der T_3 Werte mit steigender Umgebungstemperatur konnte sowohl GAULY (1997a) bei Lamas unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen als auch EL-NOUTY et al. (1978) bei unterschiedlichen Stalltemperaturen beobachten. Die von GAULY (1997a) und EL-NOUTY et al. (1978) bei 30°C gemessenen T_3 Werte lagen dabei mit 132 ng/dl bzw. 188 ng/dl etwas höher als bei der vorliegenden Untersuchung und somit auch im physiologischen Bereich von FOWLER und ZINKL (1989). Die von GAULY (1997a) und EL-NOUTY et al. (1978) bei niedrigeren Umgebungstemperaturen festgestellten Werten lagen mit 150 ng/dl bzw. 198 ng/dl für 16°C ebenfalls über den in der vorliegenden Untersuchung erreichten Werten bei 20°C.

Die Unterschiede können eventuell durch verschiedene Fütterungsbedingungen und/oder Haltungsbedingungen zu erklären sein. Auch kann der verwendete Radioimmunoassay Einfluss auf die Höhe der Werte haben. Da kein lamaspezifischer Radioimmunoassay für diese Hormonbestimmungen auf dem Markt ist, wurde in diesen Untersuchungen ein Radioimmunoassay für canines T_3 verwendet. Ob und in wieweit dies einen Einfluss auf die ermittelten T_3 -Werten bei Lamas hat, kann nicht eindeutig geklärt werden.

Zwischen den Schurtypen konnten keine signifikanten Unterschiede in den T_3 -Werten festgestellt werden.

Die T₄ Werte der Lamas lagen im gesamten Versuch deutlich unter den physiologischen Werten von SMITH et al. (1989) (7,0-22,0 µg/dl) und FOWLER und ZINKL (1989) (7,8-18,7 µg/dl).

Auch die von GAULY (1997a) beschriebenen Werte liegen mit 3,5-10,5 µg/dl zwar unter den Werten der oben genannten Autoren, aber immer noch deutlich über den in diesem Versuch erreichten T₄-Werten. Es kann nicht sicher erklärt werden, warum die Werte so deutlich unter allen Literaturangaben (EL-NOUITY et al., 1978; FOWLER und ZINKL, 1989; GAULY, 1997a; SMITH et al., 1989) liegen. Deutlich wird aber, dass die Angaben in der Literatur zum Teil erheblich voneinander differieren, was eventuell auf die verwendeten Tiere (z.B. Alter), die unterschiedliche Fütterungs-, Haltungs- und Klimabedingungen oder Bestimmungsmethoden (z.B. verschiedene Radioimmunoassays) zurückzuführen ist. Da die Werte der vorliegenden Untersuchungen so stark von den Literaturangaben abweichen, dass sie kaum durch physiologische Schwankungen (ausgelöst durch Fütterung, Haltung, etc.) erklärt werden können, stellt sich die Frage, ob der verwendete Radioimmunoassay für canines T₄ (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles) für die Bestimmung von T₄ bei Lamas geeignet ist. Obwohl dieser Assay auch von SMITH et al. (1989) und GAULY (1997a) verwendet wurde, sind dennoch große Differenzen in den T₄-Werten zu erkennen.

Trotz der allgemein sehr niedrigen Werte ist der T₄-Wert im Serum in der Hitzeperiode signifikant niedriger als in der Erholungsperiode. Auch EL-NOUITY et al. (1978) und GAULY (1997a) beschreiben bei Lamas eine Abnahme der T₄-Werte mit steigender Umgebungstemperatur.

Die Umgebungstemperatur wirkt indirekt auf den Hypothalamus, der bei hohen Umgebungstemperaturen mit einer verringerten Sekretion von TRH reagiert. Dadurch kommt es zu einer verringerten TSH-Sekretion der Adenohypophyse und als Folge zu einer verringerten Ausschüttung der beiden Schilddrüsenhormone T₃ und T₄ (VOIGT, 1996). Diese Veränderung der hormonellen Situation konnte bei den Lamas beobachtet werden, wobei die T₃- und T₄-Werte in der Hitzeperiode signifikant niedriger waren. Dies ist eine physiologische Reaktion auf die Erhöhung der Körpertemperatur und hat die Verringerung des Grundumsatzes und damit der metabolischen Wärmeproduktion zum Ziel (VOIGT, 1996). Bei beiden Hormonen kam es in der Woche nach der Hitzebelastung zu einem Anstieg der Werte. Dies lässt auf eine schnelle Reaktion der Hypothalamus-Hypophysen-Schilddrüsen-Achse schließen. Der Anstieg der T₃-Werte zwischen 30°C und 20°C stimmt in der Tendenz

mit den Werten von GAULY (1997a) überein, auch wenn die Werte in insgesamt etwas höher lagen.

5.5.2 Testosteron

Die durchschnittlichen Testosteronwerte lagen in Gruppe 1 bei 3,23 ng/ml und in Gruppe 2 (vor der Kastration) bei 1,4 ng/ml. Eine mögliche Erklärung für die höheren Testosteronwerte in Gruppe 1 ist, dass diese Gruppe abgesamt wurde und somit sexuell aktiv war. Testosteronwerte von sexuell aktiven Alpakahengsten sind ebenfalls wesentlich höher als von sexuell nicht aktiven Hengsten (FOWLER, 1998).

Die Angaben in der Literatur über den Serumtestosterongehalt bei Lamas variieren relativ stark. SUMAR (1991) gibt Werte zwischen 37,8-362,3 pg/ml und FOWLER (1998) Werte zwischen 900-1200 pg/ml als Normwerte an. GAULY (1997a) fand bei Lamahengsten unter mitteleuropäischen Klimabedingungen einen mittleren peripheren Testosterongehalt von 5,4 ng/ml, wobei sich die Werte in sehr weiten Bereichen bewegten (0,2 bis 37 ng/ml). In diesem Rahmen bewegen sich auch die von BRAVO (2002) beschriebenen Werte mit 1,1-17,4 ng/ml. Die in unseren Untersuchungen ermittelten Testosteronwerte liegen somit im Bereich der Literaturangaben (BRAVO, 2002; GAULY, 1997a).

Zwischen den beiden Temperaturphasen bestehen keine signifikanten Unterschiede in den Testosteronwerten. Tendenziell kann nach der Hitze phase ein Abfall der durchschnittlichen Testosteronwerte festgestellt werden, wobei ein Minimalwert in Versuchswoche 9 (d.h. 3 Wochen nach der Hitze phase) beobachtet werden kann. Dies scheint korrespondierend zu den Spermaparametern zu geschehen, wobei hier in Versuchswoche 9 und 10 die schlechtesten Ejakulatwerte ermittelt wurden. Eine signifikante Korrelation des Testosterongehaltes besteht jedoch nur zu den Parametern pH-Wert und Konsistenz. Beides ist auf eine Stimulation der akzessorischen Geschlechtsdrüsen durch den Testosterongehalt zurückzuführen (DÖCKE, 1994).

5.6 Veränderungen des Verhaltens in den beiden Temperaturphasen

In dem hier durchgeführten Versuch konnten signifikant höhere Liegefrequenzen der Lamas in der Hitzeperiode festgestellt werden. Da die Tiere in den beiden Temperaturphasen keine signifikanten Unterschiede im Verhaltensmerkmal „Gehen“ zeigten und sich die Aktivitäten „Liegen“ und „Stehen“ gegenseitig ausschließen, war die Stehhäufigkeit in der Hitzeperiode signifikant verringert. Tiere minimieren bei hohen Umgebungstemperaturen ihre Bewegungsaktivität, um die metabolische Wärmeproduktion möglichst gering zu halten (McFARLAND, 1999). Bei Schafen und Rindern ist die Wärmeproduktion im Stehen höher als im Liegen, so dass bei hohen Umgebungstemperaturen vermehrt liegende Körperpositionen eingenommen werden (CLARK et al., 1971; ROEFS et al., 1996) und Bewegungen eingeschränkt werden (BIANCA, 1979).

Eine weitere mögliche Erklärung für die erhöhte Liegefrequenz in der Hitzeperiode könnte die Bodenbeschaffenheit der Stallungen sein. Die Versuchsställe hatten einen Betonboden mit Stroheinstreu, um eine gute Isolation des Bodens zu gewährleisten. Einige der Lamas scharften jedoch das Stroh beiseite und legten sich auf den Betonuntergrund. Vermutlich geschah dies, um Wärme über die thermalen Fenster an den kühleren Boden abzugeben (MILZ, 2001).

Die Unterschiede in den Verhaltensmerkmalen zwischen den beiden Temperaturphasen sind jedoch so gering, dass daraus kein physiologischer Nutzen für die Tiere zu erwarten ist.

In den Untersuchungen von MILZ (2001) lagen die Lamas im Tagesmittel unabhängig von der Temperatur gleich häufig, wobei sich die eingenommenen Liegepositionen veränderten. Eine Veränderung der Liegepositionen zwischen den Temperaturphasen konnte auch bei den hier untersuchten Lamas gefunden werden, wobei in der Hitzeperiode vor allem Liegepositionen eingenommen wurden, die eine Luftzirkulation an den thermalen Fenstern erlaubten (MÜLLER-ARNKE, 2003).

Bei Beobachtungen an Alpakas konnte bei ungeschorenen Tieren keine Korrelation der Aktivität mit der Tagesmitteltemperatur gefunden werden. Bei geschorenen Tieren war diese Korrelation jedoch signifikant positiv (SCHEIBE, 1992). Der Autor definiert die von ihm erfasste Aktivität der Alpakas als „Stehen“ und „Gehen“ und unterscheidet zwischen Aktivitätsdauer und -frequenz, so dass ein Vergleich mit den hier gewonnenen Daten schwierig ist.

Im Vergleich der Schurtypen zeigten sich nur in Gruppe 1 signifikante Unterschiede zwischen den halb- und ungeschorenen Tieren in der Aktivität „Gehen“, wobei die halbgeshorenen Hengste höhere Laufaktivitäten aufwiesen als die ungeschorenen. Die Tagesprofile und

Stundendurchschnitte der Aktivität „Gehen“ wiesen bei den Lamas im Verlauf des Versuches starke Schwankungen auf, die eventuell mit der kurzen Aktivitätsdauer und der damit verbundenen ungenauen Erfassung dieses Merkmals zusammenhängen können. Daher sind die sehr geringen Unterschiede in der tatsächlichen Gehdauer vorsichtig zu interpretieren. In den aussagekräftigeren Aktivitäten „Liegen“ und „Gehen“ zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Schurtypen.

SCHEIBE (1992) konnte nach einer Schur erhöhte Liegefrequenzen bei Alpakas beobachten. Da der Autor jedoch nicht die Umgebungstemperaturen und Witterungsverhältnisse vor und nach der Schur berücksichtigt, ist ein Vergleich mit den hier gefundenen Ergebnissen schwierig.

Die individuellen Unterschiede waren in allen drei Verhaltensmerkmalen signifikant. Interessant ist auch, dass die Lamas sich in ihrem Verhalten nicht sehr stark gegenseitig zu beeinflussen schienen. Die jeweils zusammen aufgestellten Lamas zeigten zum Teil erhebliche Unterschiede in ihren Verhaltensmustern, wie dies auch von MÜLLER-ARNKE (2003) bei Lamas in anderen Verhaltensmerkmalen (Schwanzposition, Tränkehäufigkeit, Komfortverhalten) beschrieben wurde.

Die Tagesprofile der Verhaltensweisen zeigten deutlich den Bezug zur Hellphase von 6.00 Uhr bis 20.00 Uhr. Auch bei Alpakas zeigen Aktivitätsbeginn und Aktivitätsende eine signifikante Korrelation zu Sonnenaufgang bzw. Sonnenuntergang (SCHEIBE, 1992).

In der Tagphase standen die Lamas mehr, wobei es in der Mittagszeit zu einem Anstieg der Liegefrequenz mit einem Maximum um 14.00 Uhr kam. Diese Beobachtungen decken sich mit Untersuchungen von VILA und ROIG (1992), die bei frei lebenden Vikunjas einen Tagesverlauf mit einem Maximum der Graseaktivität am Morgen beobachten konnten. Diese sinkt zum Mittag ab, um nachmittags und zum Abend hin wieder anzusteigen. Die Aktivitäten „Stehen“ und „Fressen“ sind gekoppelt (MILZ, 2001).

Nachts konnte eine Zunahme der Stehaktivität um Mitternacht beobachtet werden. Dieser nächtliche Aktivitätsschub wurde auch bei im Zoo gehaltenen Alpakas beschrieben (SCHEIBE, 1992). Wie dieser nächtliche Aktivitätsschub zu erklären ist, konnte mit dieser Untersuchung und mit den Untersuchungen von SCHEIBE (1992) nicht geklärt werden.

5.7 Gesamtbetrachtung

Lamas können hohe Umgebungstemperaturen von 30°C thermoregulatorisch gut kompensieren und sind hierbei in der Lage, ihre Rektaltemperaturen u.a. durch gesteigerte Atemfrequenzen im physiologischen Bereich zu halten. Für eine gute Toleranz der hohen Umgebungstemperatur sprechen auch die T_3 -Werte, die zwar erwartungsgemäß in der Hitze phase niedriger sind, sich jedoch im Normbereich bewegen. Die T_4 -Werte sind aufgrund der insgesamt sehr niedrigen Werte schwer zu beurteilen. Auch die untersuchten Grundaktivitäten (Stehen, Gehen, Liegen) deuten auf keine massive Beeinträchtigung der normalen Verhaltensmuster bei 30°C Umgebungstemperatur hin. Dies könnte die Erklärung dafür sein, dass Lamas auch bei hohen Umgebungstemperaturen in der Sonne beobachtet werden können, obwohl ihnen Schatten zur Verfügung steht (FOWLER, 1998). Dennoch bleibt zu erwähnen, dass viele Faktoren die Thermoregulation von Lamas beeinflussen können (z.B. hohe Luftfeuchtigkeit, körperliche Arbeit, Trächtigkeit, Fettleibigkeit), so dass auch bei 30°C Vorkehrungen zum Schutz der Tiere vor Hitzestress getroffen werden müssen (PUGH et al., 1997). Eine der Möglichkeit ist die Schur der Tiere. In der vorliegenden Arbeit konnte deutlich der thermoregulatorische Vorteil der Schur aufgezeigt werden. Die geschorenen Tiere hatten signifikant niedrigere Rektaltemperaturen und Atemfrequenzen als die ungeschorenen Tiere, wobei die halbgeschorenen Tiere in diesen Parametern keine Unterschiede zu den ungeschorenen Tieren zeigten. Hieraus kann gefolgert werden, dass diese Art der Schur keinen oder nur geringen thermoregulatorischen Vorteil bringt. Durch die Thermographieaufnahmen konnte gezeigt werden, dass bei vollbewollten Tieren eine effektive Wärmeabgabe nur an den ventralen unbewollten Körperregionen (thermale Fenster) stattfindet. Die Schur erhöht die Wärmeabgabe an den geschorenen Regionen.

Das Skrotum der Neuweltkameliden liegt dem Körper eng an und die skrotale Haut ist sehr dick (FOWLER, 1998). Diese anatomischen Besonderheiten scheinen eine Anpassung an die Kämpfe der Hengste untereinander zu sein, bei denen sie versuchen, mit den sichelförmigen Hengstzähnen die Hoden des Gegners zu verletzen (FOWLER, 1998). Die thermoregulatorischen Nachteile, die diese anatomischen Gegebenheiten für die Hoden bei hohen Umgebungstemperaturen mit sich bringen, scheinen in den klimatisch eher kühlen Regionen des natürlichen Verbreitungsgebietes der Neuweltkameliden keine Rolle zu spielen. Durch das dem Körper eng anliegende Skrotum können die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen hohen Skrotaltemperaturen sowie der relativ kleine dorso-ventrale Temperaturgradient des Skrotums erklärt werden.

Die Thermoregulation der Hoden ist beim Lama bei 30°C Umgebungstemperatur über 4 Wochen nicht ausreichend, um die physiologische Funktion des Hodengewebes aufrecht zu erhalten. Es kam zu einer massiven Reduktion der Spermaqualität (Abnahme der Spermiedichte und der Vorwärtsbeweglichkeit, Zunahme der morphologisch abnormen Spermien), wobei erst ca. 12 Wochen nach Beendigung der Hitzephase wieder die Ausgangswerte erreicht wurden. Diese sehr lange Rekonvaleszenz der Spermaveränderungen erklärt sich aus den massiven histologischen Veränderungen des Hodengewebes nach der Hitzephase, wobei es zu einer Zunahme zerstörter Tubuli und zu einer Abnahme proliferierender Spermatogonien kam. Aufgrund der großen individuellen Unterschiede in Verbindung mit der Anzahl der untersuchten Tiere konnten keine Aussagen über den Einfluss des Schurtyps auf die oben genannten Parameter getroffen werden. Bei den Parametern Skrotaltemperatur und skrotaler Temperaturgradient, bei denen für alle Versuchstiere Werte erhoben werden konnten, ist der thermoregulatorische Vorteil der Schur zu erkennen. Um eventuelle Unterschiede zwischen den Schurtypen bezüglich der Spermaparameter und Hodenveränderungen zu erkennen, müsste der Versuch mit deutlich mehr Tieren wiederholt werden. Weitere interessante Forschungsansätze ergeben sich auch aus der Frage, ab welcher Umgebungstemperatur die Thermoregulation der Hoden nicht mehr ausreichend ist, wobei hier deutliche Unterschiede zwischen den Schurtypen zu erwarten wären.

Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich folgern, dass Lamas aufgrund ihrer anatomischen Besonderheiten des Skrotums auf hohe Umgebungstemperaturen mit einer deutlichen Abnahme der Spermaqualität reagieren. Dies unterstützt die Theorie von GAULY (1997a), dass es unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen in den Sommermonaten zu einer hitzebedingten Reduktion der Spermaqualität bei Lamas kommen kann. Jedoch ist zu bedenken, dass eine kontinuierliche Umgebungstemperatur von 30°C nicht den natürlichen Gegebenheiten (Absenkung der Temperatur in der Nacht) entspricht, so dass die temperaturbedingten Veränderungen der Spermaqualität unter mitteleuropäischen Klimabedingungen voraussichtlich nicht so massiv ausfallen, wie in diesem Versuch dargestellt. Um eindeutige Aussagen bezüglich der temperaturbedingten Spermaveränderungen und dem Einfluss des Schurtyps in den Sommermonaten in Mitteleuropa treffen zu können, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Erkenntnisse zu physiologischen Parametern fertiler Lamahengste (*Lama glama*) (Körperoberflächentemperaturen, Skrotaltemperaturen, skrotaler Temperaturgradient, Proliferation der Spermatogonien), sowie zu thermoregulatorischen Anpassungsreaktionen, Veränderungen der Ejakulatparameter und der Hodenhistologie von Neuweltkameliden infolge von Hitzestress dargestellt. Als wichtige Einflussgröße auf die Effizienz der Thermoregulation wurde dabei der Einfluss unterschiedlicher Bewollung (Schurtypen) berücksichtigt.

Zu diesem Zweck wurden 12 fertile männliche Lamas nach einer einwöchigen Adaptationsperiode für 4 Wochen bei 30°C gehalten. Im Anschluss folgte eine mindestens 4 Wochen lange Haltung bei 20°C. Fünf der Tiere waren geschoren, 2 halbgeshoren („Rumpfschnitt“) und fünf ungeschoren. Die physiologischen Parameter (Puls, Atmung, Rektaltemperatur) wurden täglich erfasst. Die Körperoberflächentemperatur (inkl. Skrotaltemperatur) und die Serumkonzentrationen der Schilddrüsenhormone (T_3 , T_4) und von Testosteron wurden wöchentlich bestimmt. Verhaltensbeobachtungen wurden 24 h/Woche mit der Time-sampling Methode durchgeführt.

Vier der Tiere (2 geschoren, 2 ungeschoren) wurden wöchentlich mithilfe einer künstlichen Vagina (Sprungpartner: Phantom) abgesamt und die Standard ejakulatparameter ermittelt. Sechs der Tiere wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten während des Versuches kastriert (0, 2, 4, 6 Wochen nach der Hitzebelastung). Es wurde eine H.E.-Färbung des Hodengewebes für die histologische Untersuchung angefertigt und durch immunhistochemischen Nachweis des Ki-67 Proteins die Proliferation der Spermatogonien zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Hitzebelastung quantifiziert. Die Hoden von drei zusätzlichen Lamas, die ohne Hitzebehandlung kastriert wurden, dienten als Kontrolle.

Folgende Aussagen konnten getroffen werden:

1. Lamas haben relativ hohe skrotale Oberflächentemperaturen und einen vergleichsweise geringen dorso-ventralen Temperaturgradienten des Skrotums.
2. In physiologischem Hodengewebe von Lamas beträgt der Prozentsatz an proliferierenden Spermatogonien 30,3%, wobei die Stadien nach dem „Sperm-release“ die niedrigsten Werte aufweisen.
3. Der Tagesverlauf der Grundaktivitäten (Gehen, Stehen, Liegen) zeigt einen deutlichen Bezug zur Hellphase.

4. Bei 30°C Umgebungstemperatur konnten alle Lamas ihre Körperinnentemperaturen durch gesteigerte Atemfrequenzen im physiologischen Bereich halten. Die geschorenen Tiere hatten signifikant niedrigere Rektaltemperaturen als die anderen beiden Schurtypen. Die halbgeschorenen Tiere zeigten bezüglich dieser beiden Parameter keinen Unterschied im Vergleich zu den ungeschorenen Tieren, woraus gefolgert werden kann, dass diese Art der Schur für das Tier keine thermoregulatorischen Vorteile bringt.
5. Bei 30°C Umgebungstemperatur waren die Schilddrüsenhormone (T_3 und T_4) der Lamas signifikant niedriger als bei 20°C. Die beiden Schilddrüsenhormone korrelierten dabei höchstsignifikant miteinander ($r=0,66$). Zwischen den beiden Temperaturphasen und den Schurtypen bestanden keine signifikanten Unterschiede in den Testosteronwerten.
6. Durch die Thermographieaufnahmen konnte gezeigt werden, dass bei vollbewollten Tieren eine effektive Wärmeabgabe nur an den ventralen unbewollten Körperregionen (thermale Fenster) stattfindet. Durch die Schur erhöht sich die Wärmeabgabe an den geschorenen Regionen.
7. Die Spermienkonzentration und Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien sank bei allen Hengsten nach der Hitzeperiode mit einem Minimum vier Wochen nach Beendigung der Hitzeperiode, wobei die Prozentzahl an morphologisch abnormen Spermien gleichzeitig zunahm. Die Ausgangswerte wurden erst ca. 12 Wochen nach der Hitzeperiode wieder erreicht.
8. Der Einfluss der hohen Umgebungstemperatur auf die Hodenfunktion zeigte sich in den histologischen Bildern des Hodengewebes, wo es zu einer Zunahme der zerstörten Tubuli und zu einer Reduktion der proliferierenden Spermatogonien direkt nach der Hitzeperiode kam. Sechs Wochen nach Beendigung der Hitzeperiode erreichte die Proliferationsrate der Spermatogonien wieder annähernd das Niveau der Kontrollgruppe, während die Histologie sich noch signifikant von der Kontrollgruppe unterschied.
9. Durch die großen individuellen Unterschiede und die verwendeten Tierzahlen konnte keine Aussage über den Einfluss des Schurtyps auf die Parameter Spermaqualität, Hodenhistologie und Spermatogonienproliferation getroffen werden. Bei den Parametern Skrotaltemperatur und Temperaturgradient, bei denen für alle Versuchstiere Werte erhoben werden konnten, ist der thermoregulatorische Vorteil der Schur zu erkennen.
10. Die bei den Grundaktivitäten (Gehen, Stehen, Liegen) festgestellten Unterschiede zwischen den beiden Temperaturphasen waren so gering, dass daraus kein physiologischer Nutzen für die Tiere zu erwarten ist.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Thermoregulation von Lamas bei längerfristigen Umgebungstemperaturen von 30°C ausreicht, um physiologische Rektaltemperaturen aufrecht zu erhalten, wobei nur die Vollschr, nicht aber die Teilschr („Rumpfschnitt“), thermoregulatorischen Vorteile für das Tier bringt. Die Thermoregulation der Hoden ist jedoch bei 30°C nicht mehr effizient, so dass es zu einer massiven Zerstörung des Hodenepithels, zu einer Reduktion der Spermatogonienproliferation und in Folge zu einem Abfall der Spermaqualität kommt.

7 Summary

The aim of the present study was to evaluate new data concerning physiological parameters in fertile male llamas (body surface temperature, scrotal temperature, scrotal temperature gradient, proliferation of spermatogonia), and to describe thermoregulatory adaptation reactions, changes in semen parameters and in the histology of the testes in llamas following exposure to high ambient temperature. As an important factor concerning the thermoregulatory ability of the animals, different types of shearing were compared.

15 fertile male llamas (*L. glama*) aged between two and ten years were used in the study.

They were randomly divided into three groups. Group 1 (n=6) and group 2 (n=6)) were exposed to a heat treatment (30°C for 4 weeks) and afterwards were allowed to recover for at least 4 weeks at 20°C. Five animals were unshorn, five completely shorn and 2 were given a so called barrel-cut. In group 1 semen was collected once a week of four of the animals (two shorn, two unshorn) and the standard semen parameters were evaluated (volume of semen, concentration, motility and percentage of morphologically abnormal sperms). Animals of group 2 (three shorn, three unshorn) were castrated during the study (0, 2, 4 and 6 weeks after the end of the heat-period). Three llamas (group 3) were used as a control group and castrated without any treatment. For histological evaluation the paraffin sections of the testes were stained with haematoxylin-eosin. Using monoclonal antibodies (MIB-1) against the proliferation marker Ki-67 protein, its quantitative distribution pattern in the seminiferous epithelium of llamas was studied, in order to investigate the mitotic activity of the spermatogonia at different times after heat exposure.

In group 1 and 2 physiologic parameters were evaluated daily. Body surface temperatures (including scrotal surface temperatures), serum hormone levels of thyroid hormones (T₃ and T₄) and of testosterone were established once a week. Behavioural activity was evaluated 24h/week using the time-sampling-method.

The results of the study can be summarized as follows:

1. Llamas have high scrotal surface temperatures and a small dorso-ventral temperature gradient of the scrotum.
2. In normal llama testis tissue 30,3% of the spermatogonia are proliferating. The stages after the “sperm-release” show the lowest proliferation rate.
3. The llamas are predominantly active during daytime.
4. At an ambient temperature of 30°C llamas are able to maintain their body temperature by increasing their respiratory rate. Shorn animals show significantly lower rectal

temperatures compared to the other two sheartypes. The llamas with the barrel-cut showed no better heat-tolerance compared to the unshorn animals. Therefore it can be assumed that the barrel-cut yields no thermoregulatory benefit.

5. At an ambient temperature of 30°C the thyroid hormone levels (T_3 and T_4) are significantly lower compared to 20°C. The two thyroid hormones correlated highly significantly ($r=0,66$). In the testosterone levels no differences relating to temperatures or the sheartypes can be detected.
6. Using infrared thermography it can be shown, that in unshorn llamas heat exchange was restricted to the short fibre areas (thermal windows), whereas in shorn llamas the exchange can take place over the whole body surface.
7. Due to the high environmental temperature sperm concentration and sperm-motility declined significantly in all llamas with a minimum level four weeks after the end of the heat-period, with the percentage of morphologically abnormal sperm cells increasing simultaneously. Initial values were reached again 12 weeks after the end of the heat-period.
8. The changes in sperm parameters corresponded to the histological changes of the testes following the high ambient temperature. The testes showed an increase in destroyed tubules, where no stage could be established, and a reduction of the spermatogonial proliferation rate directly after the end of the heat-period. Afterwards the percentage of destroyed stages decreased, with the spermatogonial proliferation rate increasing simultaneously. Six weeks after the end of the heat-period, the spermatogonial proliferation rate is slightly higher compared to the control group, with the percentage of destroyed tubules still above the control group.
9. Due to the great individual differences and the small number of animals used, it was not possible to draw a conclusion concerning the influence of the sheartypes on the sperm quality, the histological changes and the spermatogonial proliferation rate. Regarding the parameters scrotal temperature and scrotal temperature gradient, where data of all animals can be used, the thermoregulatory benefit of the shearing is evident.
10. Changes in basic activities (lying, standing, walking) are so small, that no thermoregulatory benefit can be seen.

Basically it can be stated, that at an ambient temperature of 30°C the thermoregulatory ability of llamas is sufficient to maintain normal rectal temperatures, with only complete shearing yielding to thermoregulatory benefits. The thermoregulation of the testes is not efficient at an

ambient temperature of 30°C, resulting in a massive destruction of the seminiferous epithelium, a reduced spermatogonial proliferation rate leading to a deterioration of the sperm quality.

8 Literaturnachweis

AGEMA (1992):

Benutzerhandbuch.

Publikation Nr. 556960, Ausgabe 1

ALLAN D.J., HARMON B.V., KERR J.F.R. (1987):

Cell death in spermatogenesis.

In: Potten C.S. (Ed.) Perspectives on Mammalian Cell Death.

Oxford University Press, London.

AMANN R.P. (1993):

Physiology and endocrinology.

In: Mickinnon D.C. und Voss F.L. (Eds.) Equine Reproduction,

Lea and Febiger, Philadelphia

ASHOKE K., RATHORE K. (1969):

Mid-piece sperm abnormality due to high temperature exposure of rams.

Br.Vet. J., 125, 534-537.

BAROW U. (1998):

Methodische Untersuchungen zur Erfassung der Thermoregulation bei Mutterkühen unter Feldbedingungen.

Dissertation. Universität Göttingen.

BARROS C.M.Q., OBA E., BRITO L.F.C., COOK R.B., COULTER G.H., GROVES G. (1999):

Testicular blood flow and oxygenevaluation in Aberdeen Angus bulls.

Rev. Bras. Reprod. Anim., 23, 218-220.

BARTH A., BOWMAN A. (1994):

The sequential appearance of sperm abnormalities after scrotal insulation or dexamethasone treatment in bulls.

Can. Vet. J., 34, 93-101.

BECKER M., KEY G., BARON B., DUCHROW M., SCHLÜTER C., FLAD H., GERDES J. (1992):

MIB-1-3, new monoclonal antibodies against the proliferation-associated antigen previously defined by Ki-67 (Abstract).

Histochem. J., 24, 610.

BEDFORD J. M. (1978):

Influence of abdominal temperature on epididymal function in the rat and rabbit.

Am. J. Anat., 152, 509-522.

- BEDFORD J.M. (1991):
Effects of elevated temperature on the epididymis and testes: experimental studies.
Adv. Exp. Med. Biol., 286, 19-32.
- BIANCA W. (1979):
Nutztiere und Klima.
Tierzüchter, 31, 188-192.
- BIGGIOGERA M., TANGUAY R., MARIN R., WU Y., MARTIN T., FAKAN S. (1996):
Localization of heat shock proteins in mouse germ cells: an immunoelectron microscopical study.
Exp. Cell Res., 229, 77-85.
- BLANCHARD T.L., VARNER D.D., BRETZLAFF K.N. (1991):
The cause and pathologic changes of testicular degenerations in large animals.
Vet. Med., 86, 531-542.
- BLAXTER K.L., GRAHAM N.M., WAINMAN F.W., ARMSTRONG D.G. (1958):
Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. II.
The parturition of heat losses in closely clipped sheep.
Agr. Sci., 3, 25-40.
- BLIGH J. (1998):
Mammalian Homeothermy: an integrative thesis.
J. Thermal Biol., 23, 143-258.
- BLOM E. (1968):
A new sperm defect – „pseudodroplets“ - in the middle piece of the bull sperm.
Nord. Vet. Med., 20, 279-283.
- BLOTTNER S., ROELANTS H. (1998):
Quantification of somatic and spermatogenic cell proliferation in the testis of ruminants, using a proliferation marker and flow cytometry analysis.
Theriogenology, 49, 1275-1287.
- BOWLER K. (1972):
The effect of repeated applications of heat on spermatogenesis in the rat: A histological study.
J. Reprod. Fert., 28, 325-333.
- BRADEN A.W.H., MATTNER P.E. (1970):
The effect of scrotal heating in the ram on semen characteristics, fecundity and embryonic mortality.
Aust. J. agric. Res., 21, 509-518.
- BRAVO P.W. (1994):
Reproductive endocrinology of llamas and alpacas.
Vet. Clin. North Am.: Food Anim. Pract., 10, 265-279.

- BRAVO P.W. (1996):
Relationship between testicle size and fertility.
Alpaca Registry Journal, 1/1996.
- BRAVO P.W. (2002):
The reproductive Process of South American Camelids.
ISBN o-9719073-0-7.
- BRAVO P.W., FLORES U., GARNICA J., ORDOÑEZ C. (1997):
Collection of semen and artificial insemination of Alpacas.
Theriogenology, 47, 619-626.
- BRAVO P.W., FOWLER M.E., STABENFELDT G.H., LASLEY B.L., FREY R. (1992):
Testis growth and testosterone concentrations in the male llama.
Proc. 12th ICAR 3, 789.
- BRAVO P.W., SKIDMORE J.A., ZHAO X.X. (2000):
Reproductive aspects and storage of semen in Camelidae.
Anim. Reprod. Sci., 62, 173-193.
- BRITO L.F.C., SILVA A.D.F., BARBOSA R.T., KASTELIC J.P. (2004):
Testicular thermoregulation in Bos indicus, crossbred and Bos taurus bulls:
relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and
effects on semen quality and sperm production.
Theriogenology, 61, 511-528.
- BROOKS J.R., ROSS C.V. (1962):
The influence of the thyroid gland and ambient temperature on fertility of rams.
J. Anim. Sci., 21, 700.
- BROWN B.W. (2000):
A review on reproduction in South American Camelids.
Anim. Reprod. Sci., 58, 169-195.
- BUSCH W. (2001):
Fruchtbarkeitsstörungen beim Schafbock.
In: Behrens H., Ganter M., Hiepe T. (Hrsg.), Lehrbuch der Schafkrankheiten.
4. Auflage, Parey Buchverlag Berlin.
- BUSCH W., LÖHLE K., PETER W. (1991):
Künstliche Besamung bei Nutztieren.
2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- BYERS S.W., GLOVER T.D. (1984):
Effect of scotal insulation on the pituitary-testicular axis of the ram.
J. Reprod. Fert., 71, 23-31.
- CAPRIO M. (1991):
Camelidos socioeconomia Andia (Camelids and Andean socio-economics),
In: Novoa, C., Florez M. (Eds.): A production de Ruminantes Menores: Alpacas,
Lima, Peru, Rerumen.

- CASADY R.B., MYERS R.M., LEGATES J.E. (1953):
The effect of exposure to high ambient temperature on spermatogenesis in the dairy bull.
J. Dairy Sci., 36, 14-23.
- CATALDO L., MASTRANGELO M.-A., KLEENE K.C. (1997):
Differential effects of heat shock on translation of normal mRNAs in primary spermatocytes, elongated spermatids and sertoli cells in seminiferous tubule culture.
Exp. Cell Res., 231, 206-213.
- CHIEFFI P., FRANCO R., FULGIONE D., STAIBANO S. (2000):
PCNA in the testis of the frog, *Rana esculenta*: A molecular marker of the mitotic testicular epithelium proliferation.
Gen. Comp. Endocrinol., 119, 11-16.
- CHOWDHURY A.K., STEINBERGER E. (1964):
A quantitative study of the effect of heat on the germinal epithelium of the rat testis.
Am. J. Anat., 115, 509-524.
- CHOWDHURY A.K., STEINBERGER E. (1970):
Early changes in the germinal epithelium of rat testes following exposure to heat.
J. Reprod. Fertil., 22, 205-212.
- CLARK R.M., HOLTER J.B., COLOVOS N.F., HAYES H.H. (1971):
Effect of postural position and position changes on energy expenditure in fasting dairy cattle.
J. Dairy Sci., 55, 257-260.
- COULTER G.H., KASTELIC J.P. (1994):
Testicular thermoregulation in bulls.
In: Proceedings of the 15th Technical Conference of Artificial Insemination and Reproduction. Nat. Assoc. Anim. Breed., 28-34.
- COULTER G.H., COOK R.B., KASTELIC J.P. (1997):
Effects of dietary energy on scrotal surface temperature, seminal quality and sperm production in young beef bulls.
J. Anim. Sci., 75, 1048-1052.
- COULTER G.H., SENGER P.L., BAILY D.R.C. (1988):
Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram.
J. Reprod. Fert., 84, 417-423.
- DAVIS J.R., FIRLIT C.F. (1966):
The germinal epithelium of cryptorchid testes experimentally induced in prepubertal and adult rats.
Fertil. Steril., 17, 187-200.

- DE LAMO D.A., LACOLLA D., HEATH J.E. (2001):
Sweating in the guanaco (*Lama guanicoe*).
J. Thermal Biol., 26, 77-83.
- DE LAMO D.A., SANBORN A.F., CARRASCO C.D., SCOTT D.J. (1998):
Daily activity and behavioural thermoregulation of the guanaco (*Lama guanicoe*)
in winter.
Can. J. Zool., 76, 1388-1393.
- DELHON G.A., VON LAWZEWITSCH I. (1987):
Reproduction in the male Llama (*Lama glama*), a South American Camelid. I.
Spermatogenesis and organization of the intertubular space of the mature testis.
Acta anat., 129, 59-66.
- DELHON G.A., VON LAWZEWITSCH I. (1994):
Ductus epididymidis compartments and morphology of epididymal spermatozoa in
llamas.
Anat. Histol. Embryol., 23, 217-225.
- DE VITA R., CALUGI A., CHIARANTANO C., FORTE D., MAURO F., UCCELLI R.
(1990):
Effects on mouse spermatogenesis monitored by flow cytometry.
Int. J. Hypertherm., 6, 543-551.
- DIX D. (1997):
Hsp70 expression and function during gametogenesis.
Cell Stress Chaperones, 2, 73-77.
- DJANUAR R. (1965):
Effect of high temperature on spermiogenesis of rams.
Commun. Vet., 9, 13-18.
- DÖCKE F. (1994):
Keimdrüsen.
In: Döcke F. (Hrsg.), *Veterinärmedizinische Endokrinologie*.
3. Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- DUCHROW M., GERDES J., SCHLÜTER C. (1994):
The proliferation-associated Ki-67 protein: definition in molecular terms.
Cell Prolif., 27, 235-242.
- DU MANOIR S., GUILLAUD P., CARIUS E., SEIGNEURIN D., BRUGAL G. (1991):
Ki-67 labeling postmitotic cells defines different Ki-67 pathways within the 2c
compartment.
Cytometry, 12, 455-463.
- DUTT R.H., HAMM P.T. (1957):
Effect of exposure to high environmental temperature and shearing on semen
production of rams in winter.
J. Anim. Sci., 16, 328.

- EGEN W. (2003):
Zehn Jahre Lama-/Alpakamarkt.
Lamas, 1, 15-16.
- EL-NOUITY F., YOUSEF M., MAGDUB A., JOHNSON H. (1978):
Thyroid hormones and metabolic rate in burros, equus asinus, and llamas, Lama glama: Effects of environmental temperature.
Comp. Biochem. Physiol., 60, 235-237.
- FALLET M. (1961):
Vergleichende Untersuchungen zur Wollbildung südamerikanischer Tylopoden.
Z. Tierzüchtung. Züchtungsbiol., 75, 34-56.
- FOOTE W.C., POPE A.L., NICHOLS R.E., CASIDA L.E. (1957):
The effect of variations in ambient temperature and humidity on rectal and testis temperatures of sheared and unsheared rams.
J. Anim. Sci., 16, 144-150.
- FOWLER D.G., DUN R.B. (1966):
Skin folds and merino breeding.
Austr. J. exp. Agric. Anim. Husband., 6, 121-127.
- FOWLER M.E. (1995):
We are family.
Lamas (international), 3, 39-45.
- FOWLER M.E. (1998):
Medicine and Surgery of South American Camelids.
Second Edition, Iowa State University Press.
- FOWLER M.E., ZINKL J. (1989):
Reference values for haematology and serum biochemistry in llamas.
Am. J. Vet. Res., 50, 2049-2053.
- FRANK E.N., HICK M.B.V., PESARINI M., HICK P.M.L., CAPELLI C.I., AHUMADA M.R. (2001):
SUPREME-Project: Classification of fibres of different types of fleeces in Argentine llamas.
Progress of South American Camelids Research, 251-259.
- FRIEDRICH P. (2002):
„Lama-Therapie“.
Lamas, 4, 22-23.
- GARNICA J., FLORES E., BRAVO P.W. (1995):
Citric acid and fructose concentrations in seminal plasma of the alpaca.
Small Rumin. Res., 18, 95-98.
- GARSINSKA A., HILL S. (1990):
The effect of hyperthermia on the mouse testis.
Neoplasma, 37, 357-366.

- GAULY M. (1997a):
Saisonale Veränderungen spermatologischer Parameter und der Serumkonzentration von Testosteron, Oestradiol 17 β , Thyroxin sowie Trijodthyronin männlicher Neuweltkameliden (*Lama glama*) in Mitteleuropa. Inaugural Dissertation. Universität Gießen.
- GAULY M. (1997b):
Fortpflanzungsphysiologie und Zucht.
In: Gauly M. (Hrsg.), Neuweltkameliden.
Parey Buchverlag Berlin.
- GAULY M. (1997c):
Die Reproduktionsphysiologie von Neuweltkameliden.
Tierärztl. Prax., 25, 74-9.
- GAULY M., BOURKE D. (1997):
Reproduktionsbiologie und Trächtigkeitsuntersuchung bei Neuweltkameliden.
Dtsch. Tierärztl. Wochenschr., 1, 15-18.
- GAULY M., LEIDINGER H. (1995):
Semen quality, characteristic, volume distribution and hypoosmotic sensitivity of spermatozoa of *Lama glama* and *Lama guanacoe*.
2nd European Conference on South American Camelids, Camerino, Italien.
- GERDES J., LEMKE H., WACKER H., SCHWAB J., STEIN H. (1984):
Cell cycle analysis of a cell proliferation associated human nuclear antigen defined by the monoclonal antibody Ki-67.
J. Immunol., 133, 1710-1715.
- GERKEN M. (1997a):
Leistungen und Produkte.
In: Gauly M. (Hrsg.), Neuweltkameliden.
Parey Buchverlag Berlin.
- GERKEN M. (1997b):
Application of infra-red thermography to evaluate the influence of the fibre on body surface temperature in llamas.
European Fine Fibre Network, Occasional Publication No. 6.
- GLOVER T.D., YOUNG D.H. (1963):
Temperature and the production of spermatozoa.
Fertil. Steril., 14, 441-450.
- GOMES W., BUTLER W., JOHNSON A. (1971):
Effect of elevated ambient temperature on testis and blood levels and in vitro biosynthesis of testosterone in the ram.
J. Anim. Sci., 33, 804-807.
- GRZIMEK B. (1988):
Grzimeks Enzyklopädie, Säugetiere, Band 5.
Kindler Zürich.

- HAMMEL H.T. (1968):
Regulation of internal body temperature.
Annu. Rev. Physiol., 37, 641-705.
- HEATH A.M., NAVARRE C.B., SIMPKINS A., PUROHIT R.C., PUGH D.G. (2001):
A comparison of surface and rectal temperatures between sheared and non-sheared alpacas (*Lama pacos*).
Small Rumin. Res., 39, 19-23.
- HEATH A.M., PUGH D.G., SARTIN E.A., NAVARRE B., PUROHIT R.C. (2002):
Evaluation of the safety and efficacy of testicular biopsies in llamas.
Theriogenology, 58, 1125-1130.
- HIENDLEDER S., KESSLER M. (1997):
Zoologie, Domestikation und Verbreitung von Neuweltkameliden.
In: Gauly M. (Hrsg.), Neuweltkameliden.
Parey Buchverlag Berlin.
- HOCHEREAU-DE REVIERS M.T., LOCATELLI A., PERREAU C., PISSELET C., SETCHELL B.P. (1993):
Effect of a single brief period of moderate heating of the testis on seminiferous tubules in hypophysectomized rams treated with pituitary extract.
J. Reprod. Fertil., 97, 381-387.
- HOFFMANN B. (1977):
Bestimmung von Steroidhormonen beim weiblichen Rind. Entwicklung von Messverfahren und physiologischen Daten.
Fortschritte der Veterinärmedizin, 26, Beiheft zum Zentralblatt für Veterinärmedizin.
Parey Buchverlag, Berlin.
- HOFMANN W.F., RIEGEL G.D. (1977):
Thermorespiratory responses of shorn and unshorn sheep to mild heat stress.
Respir. Physiol., 30, 327-338.
- HÖRNICKE H. (1987):
Thermophysiologie.
In: Scheunert A., Trautmann A. (Hrsg.), Lehrbuch der Veterinärphysiologie.
7. Auflage, Parey Buchverlag Berlin.
- HOWARTH B. (1969):
Fertility in the ram following exposure to elevated ambient temperature and humidity.
J. Reprod. Fertil., 19, 179-183.
- ISENBÜGEL E. (2003):
Neuweltkameliden in Menschenhand.
Lamas, 3, 6-7.

JESSEN C. (1996):

Temperaturregulation und Wärmehaushalt.

In: Klinke R., Silbernagel S. (Hrsg.), Lehrbuch der Physiologie.

2. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.

JESSEN C. (2000):

Wärmebilanz und Temperaturregulation.

In: Engelhardt W., Breves G. (Hrsg.), Physiologie der Haustiere.

Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart.

JESSEN C. (2001):

Temperature regulation in humans and other mammals.

Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

JESSUP D.A., LANCE W.R. (1982):

What Veterinarians should know about South American Camelids.

California Veterinarian, 11, 13-17.

KADWELL M., FERNANDEZ M., STANLEY H.F., BALDI R., WHEELER J.C.,
ROSADIO R., BRUDFORT M.W. (2001):

Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca.

Proc. R. Soc. Lond. B, 268, 2575-2584.

KASTELIC J.P., COULTER G.H., COOK R.B. (1995):

Scrotal surface, subcutaneous, intratesticular and intraepididymal temperatures in
bulls.

Theriogenology, 44, 147-152.

KASTELIC J.P., COOK R.B., COULTER G.H. (1996a):

Contribution of the scrotum and testes to scotal and testicular thermoregulation in
bulls and rams.

J. Reprod. Fert., 108, 81-85.

KASTELIC J.P., COOK R.B., COULTER G.H., WALLINS G.L., ENTZ T. (1996b):

Environmental factors affecting measurement of bovine scrotal surface
temperature with infrared thermography.

Anim. Reprod. Sci., 41, 153-159.

KASTELIC J.P., COOK R.B., COULTER G.H. (1997):

Contribution of the scrotum, testes, and testicular artery to scrotal/testicular
thermoregulation in bulls at two ambient temperatures.

Anim. Reprod. Sci., 45, 255-261.

KIMURA M., ITOH N., TAKAGI S., SASAO T., TAKAHASHI A., MASUMORI N.,
TSUKAMOTO T. (2003):

Balance of apoptosis and proliferation of germ cells related to spermatogenesis in
aged men.

J. Androl., 24, 185-191.

- KLIR J.J., HEATH J.E., BENNANI N. (1990):
An infrared thermographic study of surface temperature in relation to external thermal stress in the Mongolian Gerbil, *Meriones unguiculatus*.
Comp. Biochem. Physiol., 96, 141-146.
- KNÍŽKOVÁ I., KUNC P., KOUBKOVÁ M., FLUSSER J., DOLEZAL O. (2002):
Evaluation of naturally ventilated dairy barn management by a thermographic method.
Livest. Prod. Sci., 77, 349-353.
- KRÄMER T. (2000):
Untersuchungen über den Einfluss erhöhter Außentemperaturen auf verschiedene Ejakulatparameter sowie biochemische und hormonelle Parameter bei in der Klimakammer und unter subtropischen Klimaverhältnissen gehaltenen Bullen.
Inaugural Dissertation. Universität Berlin.
- KUBICEK J. (1974):
Samenentnahme bei einem Alpaka durch eine Harnröhrenfistel.
Z. Tierzüchtung. Züchtungsbiol., 90, 335-351.
- LANGLEY J.N., ANDERSON H. (1985):
The innervation of the pelvic and adjoining viscera. Parts III and IV.
J. Physiol., 19, 122.
- LARSON K., EINARSSON S. (1984):
Seminal changes in boars after heat stress.
Acta vet. Scand., 25, 57-66.
- LARSON K., EINARSSON S., LUNDSTRÖM K., HAKKARAINEN J. (1983):
Endocrine effects of heat stress in boars.
Acta vet. Scand., 24, 305-314.
- LaRUE JOHNSON W. (1989):
Llama reproduction.
Vet. Clin. North Am.: Food Anim. Pract., 5, 159-182.
- LEICHTWEIß H.-P. (1996):
Sexualfunktionen, Schwangerschaft und Geburt.
In: Klinker R., Silbernagel S. (Hrsg.), Lehrbuch der Physiologie.
2. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York
- LICHTENWALNER A.B., WOODS G.L., WEBER J.A. (1996):
Seminal collection, seminal characteristics and pattern of ejaculation in llamas.
Theriogenology, 46, 293-305.
- LIEBICH H.-G. (1999):
Funktionelle Histologie der Haussäugetiere: Lehrbuch für Studium und Praxis.
3. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart, New York.

LOPEZ A. (1999):

The alpaca (lama pacos): A livestock alternative for nonaltiplano zones in Chile-Part 1.

Alpaca Registry Journal IV, 1/1999.

LOUGHMILLER J.A., SPIRE M.F., DRITZ S.S., FENWICK B.W., HOSNI M.H., HOGGE S.B. (2001):

Relationship between mean body surface temperature measured by use of infrared thermography and ambient temperature in clinically normal pigs and pigs inoculated with *Actinobacillus pleuropneumoniae*.

Am J. Vet. Res., 62, 676-681.

LUE Y.H., LASLEY B.L., LAUGHLIN L.S., SWERDLOFF R.S., SINHA HIKIM A.P., LEUNG A., OVERSTREET J.W., WANG C. (2002):

Mild testicular hyperthermia induces profound transitorial spermatogenic suppression through increased germ cell apoptosis in adult *Cynomolgus* Monkeys (*Macaca fascicularis*).

J. Androl., 23, 799-805.

LUE Y.H., SINHA HIKIM A.P., SWERDLOFF R.S., IM P., TAING K.S. (1999):

Single exposure to heat induces stage specific germ cell apoptosis in rats: role of intratesticular testosterone on stage specificity.

Endocrinology, 140, 1709-1717.

LUE Y.H., SINHA HIKIM A.P., WANG C., IM M., LEUNG A., SWERDLOFF R.S. (2000):

Testicular heat exposure enhances the suppression of spermatogenesis by testosterone in rats: the „two-hit“ approach to male contraceptive development.

Endocrinology, 141, 1414-1424.

LUNSTRA D.D., COULTER G.H. (1997):

Relationship between scrotal infrared temperature patterns and natural-mating fertility in beef bulls.

J. Anim. Sci., 75, 767-774.

MAIN S.J., WAITES G.M.H. (1977):

The blood-testis barrier and temperature damage to the testis of the rat.

J. Reprod. Fert., 51, 439-450.

MALAK A.G., THIBIER M. (1985):

Lack of relationship between spontaneous fluctuations of FSH, LH und testosterone and semen output quality in young postpuberal bulls.

Zuchthygiene, 20, 222-228.

MARTIN P., BATESON P. (1993):

Measuring Behaviour.

Cambridge University Press, Cambridge.

- MAYMON B., YOGEV L., YAVETZ H., LIFSCHITZ-MERCER B., SCHREIBER L., KLEIMAN S., BOTCHAN A., HAUSER R., PAZ G. (2003):
Spermatogonial proliferation patterns in men with azoospermia of different etiologies.
Fertil. Steril., 80, 1175-1180.
- McCAFFERTY D.J., MONCRIEFF J.B., TAYLOR I.R., BODDIE G.F. (1998):
The use of thermography to measure the radiative temperature and heat loss of an barn owl (*Tyto alba*).
J. Therm. Biol., 23, 311-318.
- McEVOY T.G. (1992):
Collection, evaluation and cryoconservation of llama semen.
J. Reprod. Fertil., Abstr. Series 9, 48.
- McEVOY T.G., BOURKE D.A., ADAM C.L. (1994):
Recent advances in understanding and controlling the reproductive biology of South American Camelids.
ARTA, 5, 277-297.
- McFARLAND D. (1999):
Biologie des Verhaltens. Evolution, Physiologie, Psychobiologie.
Spektrum Akademischer Verlag & Gustav Fischer Verlag.
- MEISTRICH M.L., ENG V.W.S., LOIR M. (1973):
Temperature effects on the kinetics of spermatogenesis in the mouse.
Cell Tiss. Kin., 6, 379-393.
- MENGER H. (1987):
Schafbesamung, Biologie, Technik, Organisation.
2. Auflage, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- MIDDLETON J.R., PARISH S.M. (1999):
Heat stress in a llama (*Lama glama*): A case report and review of the syndrome.
J. Cam. Prac. Res., 6, 265-269.
- MIEUSSET R., QUINTANA C.P., SANCHEZ P.L.G., SOWERBUTTS S.F., ZUPP J.L., SETCHELL B.P. (1992a):
Effects of heating the testes and epididymides of rams by scrotal insulation on fertility and embryonic mortality in ewes inseminated with frozen semen.
J. Reprod. Fert., 94, 337-343.
- MIEUSSET R., QUINTANA C.P.I., SANCHEZ P.L.G., SOWERBUTTS S.F., ZUPP J.L., SETCHELL B.P. (1992b):
The effect of moderate heating of the testes and epididymides of rams by scrotal insulation on body temperature, respiratory rate, spermatozoa output and motility, and on fertility and embryonic survival in ewes inseminated with frozen semen.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 637, 445-459.

- MILZ C. (2001):
Vergleichende Untersuchungen zum Verhalten von Lamas und Schafen auf der Weide.
Inaugural Dissertation. Universität Gießen.
- MOOG G. (1995):
Die Nutzung von Lamahaut zur Lederherstellung.
Lamas, 3, 27.
- MOSSER D., CARON A., BOURGET L., DENISLAROSE C., MASSIE B. (1997):
Role of the human heat shock protein hsp70 in protection against stress-induced apoptosis.
Mol. Cell. Biol., 17, 5317-5327.
- MÖSTL E. (2000):
Spezielle Endokrinologie.
In: Engelhardt W., Breves G. (Hrsg.), Physiologie der Haustiere.
Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart.
- MOULE G.R., KNAPP B. (1950):
Observations on intra-testicular temperatures of Merino rams.
Aust. J. Agric. Res., 1, 456-464.
- MOULE G.R., WAITES G.M. (1963):
Seminal degeneration in the ram and its relation to the temperature of the scrotum.
J. Reprod. Fertil., 5, 433-446.
- MÜLLER-ARNKE I. (2003):
Behaviour of male llamas (*Llama glama*) during heat stress in relation to different shearing.
Thesis for Master's Degree, Universität Göttingen.
- NAVARRE C.B., HEATH A.M., WENZEL J., SIMPKINS A., BLAIR E., BELKNAP E., PUGH D.G. (2001):
A comparison of physical examination and clinicopathologic parameters between sheared and nonsheared alpacas (*Lama pacos*).
Small Rumin. Res., 39, 11-17.
- NEELY D.P. (1993):
Reproductive aspects of the male lama.
In: Proceedings of the Conference of Theriogenology of Auburn. Auburn, Alabama.
- NICKEL R., SCHUMMER A., SEIFERLE E. (1995):
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band II Eingeweide.
7. unveränderte Auflage, Blackwell Wissenschaftsverlag Berlin, Wien.

- PARADISI R., LODI S., BOLELLI G., VENTUROSIO S. (1980):
Radioimmunoassay of three oestrogens and three androgens in the same plasma sample after extraction and chromatographic separation.
Acta Endocrinol., 94, 229-234.
- PAUL R.J. (2001):
Physiologie der Tiere.
Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- PEARSON J., PEARSON T. (2000):
Do I or do I not shear?
<http://www.pearsonpond.com/shear.htm>.
- PHILLIPS P.K., HEATH J.E. (2001):
An infrared thermographic study of surface temperature in the euthermic woodchuck (*Marmota monax*).
Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol., 129, 557-562.
- PLÖEN L. (1973):
A light microscope study of the immediate and delayed effects on rabbit spermatogenesis following experimental cryptorchism for twenty-four hours.
Virchows Archiv Abteilung B Zellpathologie, 10, 185-196.
- PUGH D.O., GAULY M. (1995):
Die Kastration von Neuweltkameliden.
Prakt. Tierarzt, 5, 461-463.
- PUGH D.O., EVANS C.N., HUDSON J., KENNEL A. (1997):
Heat stress in llamas.
International Llama Association Educational Brochure, 11.
- PUROHIT R.C., HUDSON R.S., RIDDELL M.G., CARSON R.L., WOLFE D.F., WALKER D.F. (1985):
Thermography of the bovine scrotum.
Am. J. Vet. Res., 46, 2388-2392.
- RAO N.V.D., RAO R.A. (1977):
Influence of heat induced testicular degeneration on semen characteristics and testicular histology in rams.
Canadian Vet., 54, 719-726.
- RAPPERSBERGER G. (2000):
Lamas und Alpakas.
Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- RATHORE A.K. (1968):
Effects of high ambient temperature on sperm morphology and subsequent fertility in Merino sheep.
Proc. Aust. Soc. Anim. Prod., 7, 270-274.

- RATHORE A.K., YEATES N.T.M. (1967):
Morphological changes in ram spermatozoa due to heat stress.
Vet. Rec., 2, 343-344.
- ROCKETT J., MAPP F., GARGES B., LUFT C., MORI C., DIX D. (2001):
Effects of hyperthermia on spermatogenesis, apoptosis, gene expression, and fertility in adult male mice.
Biol. Reprod., 65, 229-239.
- RODRIGUEZ A., ROJAS M., BUSTOS-OBREGON E., URQUIETA B., REGADERA J. (1999):
Distribution of Keratins, Vimentin and Actin in the testis of two South American Camelids: Vicuna and Llama. An immunohistochemical study.
Anat. Rec., 254, 330-335.
- ROEFS J.P.A., SCHRAMA J.W., SCHOUTEN W.G.P. (1996):
Effect of temperature and food intake on metabolic rate and posture of preruminant calves.
Phys. Behav., 60, 203-209.
- ROMEIS B. (1968):
Mikroskopische Technik.
R. Oldenburg Verlag, München, Wien.
- ROSENMAN M., MORRISON P. (1963):
Physiological response to heat and dehydration in the guanaco.
Physiol. Zool., 36, 45-51.
- ROTTER, D. (1991):
Lamas can beat the heat.
R&R Press, Texas.
- RUBSAMEN K., VON ENGELHARDT W. (1975):
Water metabolism in the llama.
Comp. Biochem. Physiol. (A), 52, 595-598.
- RUSSEL A.J.F., REDDEN H. (1994):
Effects of season and nutrition on fibre growth in llamas.
In: Gerken M. and Renierei C. (Eds.), Proc. First European Symposium on South American Camelids, Bonn.
- SAILER B. L., SARKAR L. J., BJORDAHL J. A., JOST L. K., EVENSON D. P. (1997):
Effect of heat stress on mouse testicular cells and sperm chromatin structure.
J. Androl., 18, 294-301.
- SANFORD L.M., VOGLMAYR J.K., VALE W.W., ROBAIRE B. (1993):
Photoperiod-mediated increases in serum concentrations of inhibin, follicle-stimulating hormone, and luteinizing hormone are accentuated in adult shortened-scrotum rams without corresponding decreases in testosterone and estradiol.
Biol. Reprod., 49, 365-373.

- SAN MARTIN F., BRYANT F.C. (1989):
The Nutrition of Domesticated South American Llamas and Alpacas.
Small Rumin. Res., 2, 191-216.
- SAN MARTIN M., COPAIRA M., ZUNIGA J., RODREGUEZ R., BUSTINZA G.,
ACOSTA L. (1968):
Aspects of reproduction in the alpaca.
J. Reprod. Fert., 16, 395-399.
- SARGE K.D. (1995):
Male germ cell-specific alteration in temperature set point of the cellular stress
response.
J. Biol. Chem., 270, 18745-18748.
- SAS (1989):
Stat. User's Guide. Version 6.
SAS Insitute Inc., Cary, NC.
- SASAKI K., MURAKAMI R., KAWASAKI M., TAKAHASHI M. (1987):
The cell cycle associated change of Ki-67 reactive nuclear antigen expression.
J. Cell Physiol., 133, 579-584.
- SCHALLENBERGER E., HARTL P., SCHAMS D., LORRMANN W., HAHN R.
(1991):
Hormonprofile und Fruchtbarkeit von Bullen.
Tierzüchter, 43, 402-403.
- SCHEIBE K.M. (1992):
Diagnose individueller Zustandsänderungen bei Alpakas auf der Grundlage
biorhythmischer Untersuchungen.
KTBL-Schrift, 241-253.
- SCHLÜTER C., DUCHROW M., WOHLLENBERG C., BECKER M., KEY G., FLAD H.,
GERDES J. (1993):
Molecular cloning of the cell proliferation associated nuclear antigen defined by
antibody Ki-67: a unique gene encoding for a new PEST protein.
J. Cell. Biol., 123, 513-522.
- SCHMEIS B. (2003):
Mehr als Spucken: Lamas fühlen sich in Europa wohl.
Vista verde News/Natur, 17.04.2003.
- SCHMIDT C.R. (1973):
Breeding season and notes on some other aspects of reproduction in captive
camelids.
Int. Zool. Yearbook, 13, 387-390.
- SCHMIDT-NIELSEN K. (1999):
Physiologie der Tiere.
Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.

- SCHNORR B., KRESSIN M. (2001):
Embryologie der Haussäugetiere.
4. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- SETCHELL B.P. (1978):
The scrotum and thermoregulation.
In: Setchell B.P. (Ed.), The mammalian testis.
Cornell University Press, Ithaca.
- SETCHELL B.P. (1991):
Male reproductive organs and semen.
In: Cole H. H., Cupps P. T. (Eds.), Reproduction in domestic animals.
Academic Press New York.
- SETCHELL B.P. (1998):
The Parkers Lecture: Heat and the testis.
J. Reprod. Fertil., 114, 179-194.
- SHEMI D., KAPLANSKI J. (1994):
The effect of circadian rhythm and change in ambient temperature on body temperature in aged rats.
Thermal Balance in Health and Disease. Advances in Pharmacological science.
Birkhäuser Verlag Basel.
- SHIKONE T., BILLIG H., HSUEH A.J.W. (1994):
Experimentally induced cryptorchidism increases apoptosis in rat testis.
Biol. Reprod., 51, 865-872.
- SKINNER J.D., LOUW G.N. (1966):
Heat stress and spermatogenesis in Bos indicus and Bos taurus cattle.
J. Appl. Physiol., 21, 1784-1790.
- SIHNA HIKIM A.P., WANG C., LEUNG A., SWERDLOFF R.S. (1995):
Involvement of apoptosis in the induction of germ cell degeneration in adult rats after gonadotrophin-releasing hormone antagonist treatment.
Endocrinology, 136, 2770-2775.
- SIHNA HIKIM A.P., RAJAVASHITH T.B., SINHA HIKIM I., LUE Y., BONAVERA J.J., LEUNG A., WANG C., SWERDLOFF R.S. (1997):
Significance of apoptosis in the temporal and stage specific loss of germ cells in the adult rat after gonadotrophin deprivation.
Biol. Reprod., 57, 1193-1201.
- ŚLEBODZIŃSKI A. (1994):
Schilddrüse.
In: Döcke F. (Hrsg.), Veterinärmedizinische Endokrinologie.
3. Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.

- SMIDT D. (1994):
Reproduktion.
In: Kräusslich (Hrsg.), Tierzuchtungslehre.
4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- SMITH B., PEARSON E., LEON J. (1989):
Evaluation of normal triiodothyronine and tetraiodothyronine concentrations in llamas (*Lama glama*).
Am. J. Vet. Res., 50, 1215-1219.
- SMITH B.B., TIMM K. (1997):
Anatomie und Physiologie.
In: Gauly M. (Hrsg.), Neuweltkameliden.
Parey Buchverlag, Berlin.
- SMITH C.L., PETER A.T., PUGH D.G. (1994):
Reproduction in Llamas and Alpacas: A Review.
Theriogenology, 41, 573-592.
- SMITH J. F. (1971):
The effect of temperature on characteristics of semen of rams.
Austr. J. agric. Res., 22, 481-90.
- SOD-MORIAH U.A., GOLDBERG G.M., BEDRAK E. (1974):
Intrascrotal temperature, testicular histology and fertility of heat-acclimatized rats.
J. Reprod. Fertil., 37, 263-268.
- STEINBERGER E., DIXON W.J. (1959):
Some observations on the effect of heat on the testicular germinal epithelium.
Fertil. Steril., 10, 578-595.
- STEGER K., ALEITHE I., BEHRE H., BERGMANN M. (1998):
The proliferation of spermatogonia in normal and pathological human seminiferous epithelium: an immunohistochemical study using monoclonal antibodies against Ki-67 protein and proliferating cell nuclear antigen.
Mol. Hum. Reprod., 4, 227-233.
- STOLLA R. (1984):
Ursachen und Bedeutung der Teratozoospermie.
Enke Verlag, Stuttgart.
- STRITTMATTER K. (2003):
Schafzucht.
Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

SUMAR J.B. (1991):

Fisiología de la reproducción del macho y manejo reproductivo.

In: Fernandez-Baca S. (Ed.), Avances y perspectivas del conocimiento de los Camelidos Sud Americanos.

FAO. Santiago, Chile.

SUMAR J.B. (1996):

Reproduction in llamas and alpacas.

Anim. Reprod. Sci., 42, 405-415.

SUMAR J., BRAVO W. (1986):

Fertility of female alpacas based on the size of testicles of breeding males.

Proc. 7th Annu. Rep. CRSP, Univ. of California, Davis.

TORRES H. (1992):

South American Camelids: an action plan for their conservation.

IUCN/CSE. South American Camelid Specialist Group, Gland, Switzerland.

TURNER J. (1980):

Genetic and biological aspects of Zebu adaptability.

J. Anim. Sci., 50, 1201-1205.

URQUIETA B., ROJAS J.R. (1990):

An introduction in South American Camelids.

In: Livestock reproduction in Latin America. Proc. of the final research co-ordination meeting of the FAO/IAEA/ARCAL,

International Atomic Energy Agency, Vienna.

VILA B.L., ROIG V.G. (1992):

Diurnal movements, family groups and alertness of vicuna during the late dry season in the Laguna Blanca Reserve (Catamarca, Argentina).

Small Rumin. Res., 7, 289-297.

VINELLA S. (1994):

The European Market of South American camelid wool.

In: Gerken M., Renieri C. (Eds.), Proc. First European Symposium on South American Camelids.

VOIGT K. (1996):

Endokrines System.

In: Klinke R. und Silbernagel S. (Hrsg.), Lehrbuch der Physiologie.

2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

WAITES G.M.H. (1962):

The effect of heating the scrotum of the ram on respiration and body temperature.

Exptl. Physiol., 47, 314-323.

WAITES G.M.H. (1970):

Temperature regulation and the testis.

In: Johnson A.D., Gomes W.R., Van Denmark N.L. (Eds.), The testis.

Academic Press, N.Y., London.

- WAITES G.M.H., MOULE C.R. (1961):
Relation of vascular heat exchange to temperature regulation in the testis of the ram.
J. Reprod. Fertil., 2, 213-224.
- WAITES G.M.H., ORTAVANT R. (1967):
Effects on spermatogonia and other cell types of a single period of temperature elevation in the testis.
Aust. J. exp. Biol. med. Sci., 45, 4-6.
- WAITES G.M.H., ORTAVANT R. (1968):
Effets précoces d'une brève élévation de la température testiculaire sur la spermatogenèse du bélier.
Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., 8, 323-331.
- WAITES G.M.H., VOGELMAYR J.K. (1962):
Apocrine sweat glands of the scrotum of the ram.
Nature (London), 196, 965-967.
- WAITES G.M.H., VOGELMAYR J.K. (1963):
The functional activity and control of the apocrine sweat glands of the scrotum of the ram.
Aust. J. Agric. Res., 14, 839-851.
- WERNERY U., FOWLER M.E., WERNERY R. (1999):
Colour atlas of camelid haematology.
Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien.
- WEST T.L. (1981):
Llama caravans of the Andes.
Natural History, 90, 62-73.
- WILLIAMS B. (1993):
Llama wool.
International Llama Association Educational Brochure, 9.
- WILSON R.L., GODLEY W.C., HURST V. (1959):
The effect of temperature on ram spermatozoa.
Vet. Med., 481-486.
- WROBEL K.H. (1990):
Männliche Geschlechtsorgane.
In: Mosimann W., Kohler T. (Hrsg.), Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie der Haussäugetiere.
Parey Buchverlag, Berlin und Hamburg.
- WROBEL K.H., BICKEL D., KUJAT R. (1996):
Immunohistochemical study of seminiferous epithelium in adult bovine testis using monoclonal antibodies against Ki-67 protein and proliferating cell nuclear antigen (PCNA).
Cell Tissue Res., 283, 191-201.

WROBEL K.H., KUJAT R., LUTZ R. (1993):

Expression of the proliferation-associated Ki-67 antigen in bovine testicular tubular cells during the seminiferous epithelial cycle, demonstrated with the MIB-1 antibody.

Andrologia, 25, 301-305.

YIN Y., HAWKINS K.L., DEWOLF W.C., MORGENTALER A. (1997):

Heat stress causes testicular germ cell apoptosis in adult mice.

J. Androl., 8, 159-165.

ZIEGER P. (1998):

Einfluss von Hitze auf die Spermaqualität und das Proteinmuster im Seminalplasma von Schafböcken unter besonderer Berücksichtigung der Bildung von Hitze-Stress-Proteinen.

Inaugural Dissertation. Universität Gießen.

9 Anhang

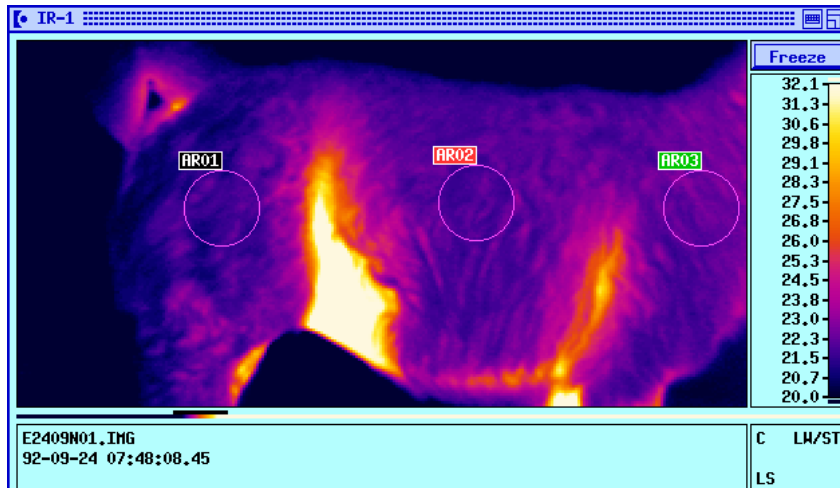


Abb. 39: Messung der Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Infraotthmographie (Auswertung der Flächen AR01-03 zur Ermittlung der Körperoberflächentemperaturen „hinten“, „mitte“, „vorne“)

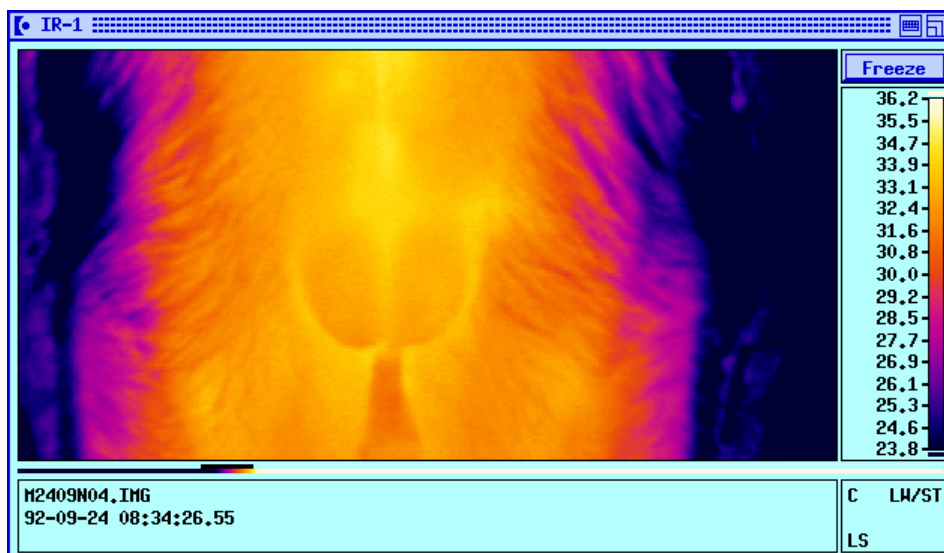


Abb. 40: Thermographieaufnahme des Skrotums eines Lamas

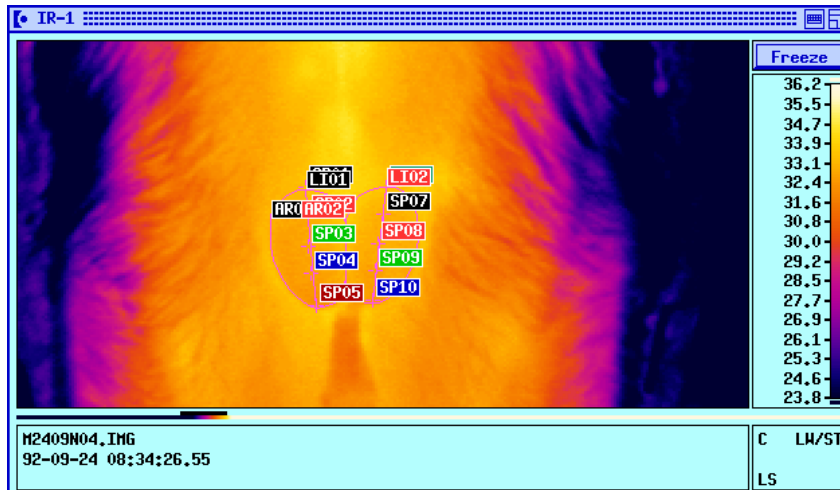


Abb. 41: Messung der Skrotaltemperatur mit Hilfe der Infrarotthermographie
(Auswertung der Flächen AR01 und AR02 für die Skrotaltemperaturen links und rechts;
Auswertung der Punkte SP01-10 zur Ermittlung des skrotalen Temperaturgradienten)

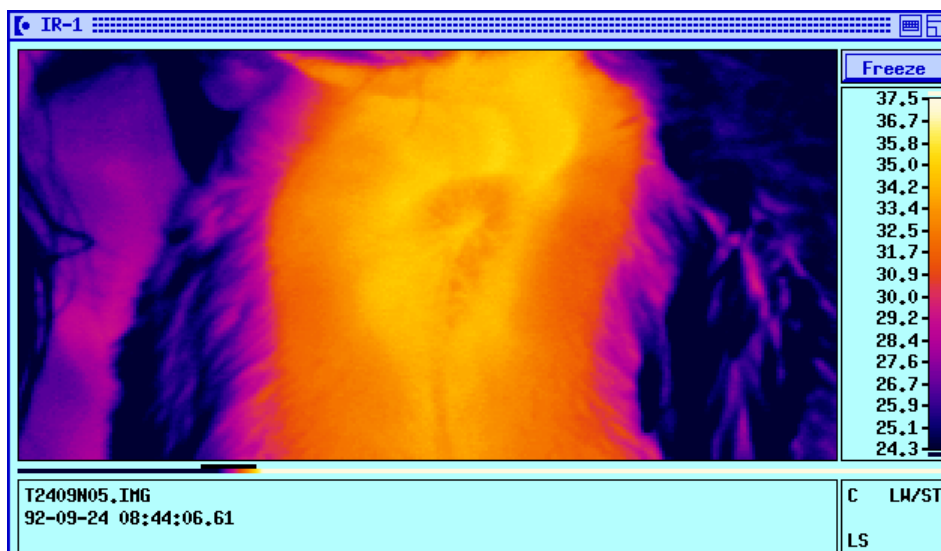


Abb. 42: Thermographieaufnahme des Anus eines Lamas



Abb. 43: Spermagewinnung beim Lama mit Hilfe eines Lamastutenphantoms und einer künstlichen Vagina



Abb. 44: Spermagewinnung beim Lama mit Hilfe einer künstlichen Vagina (Detailansicht)

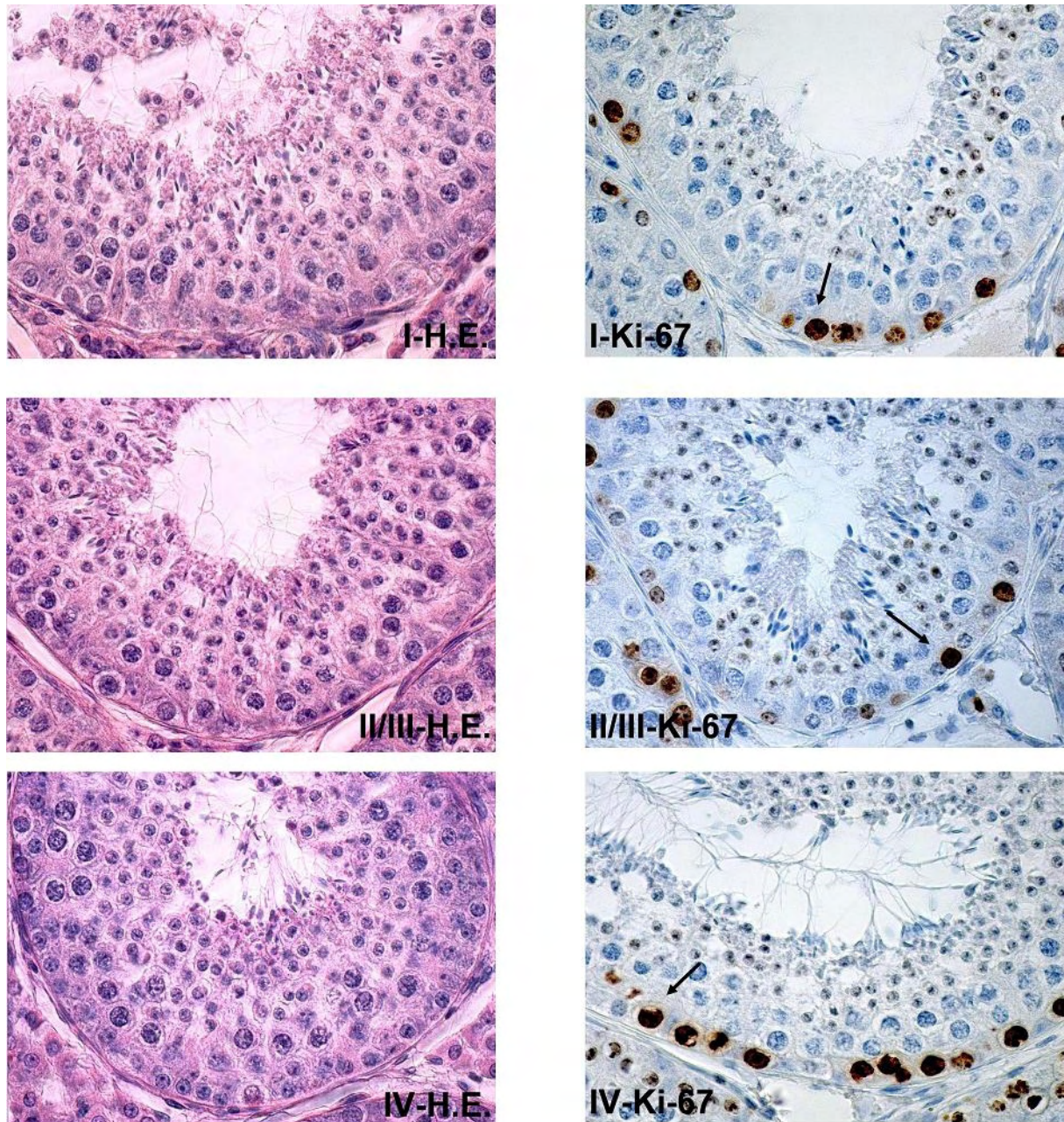


Abb. 45: Stadium I, II/III, IV des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung (Pfeil: Ki-67 positive Spermatogonie), 400x

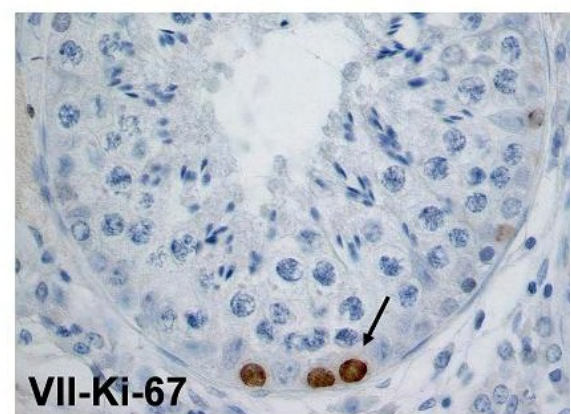
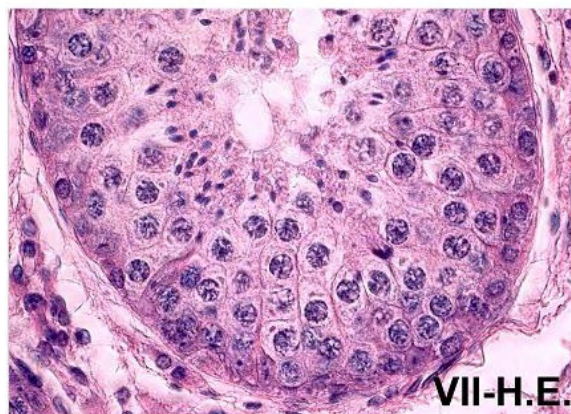
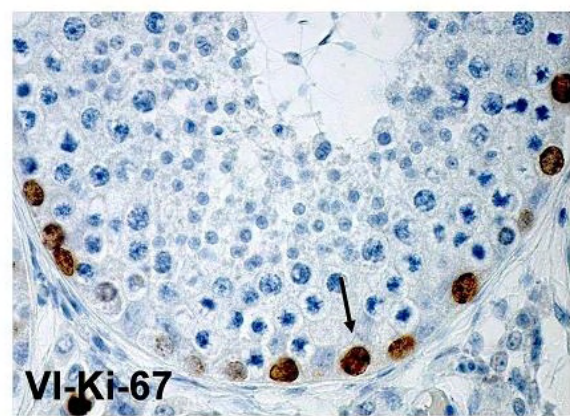
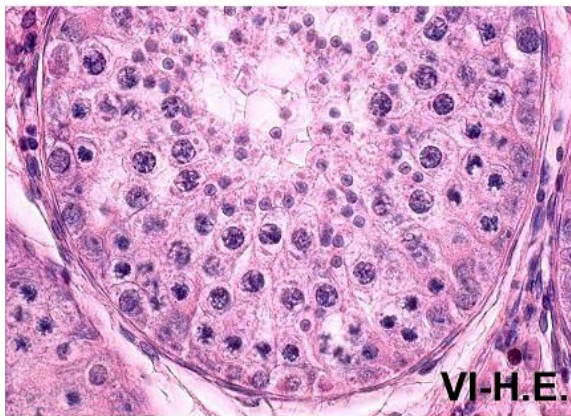
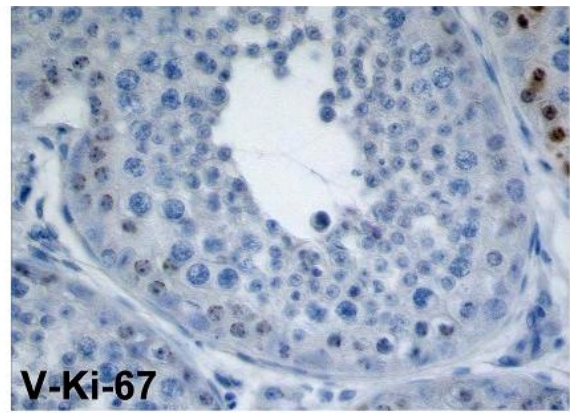
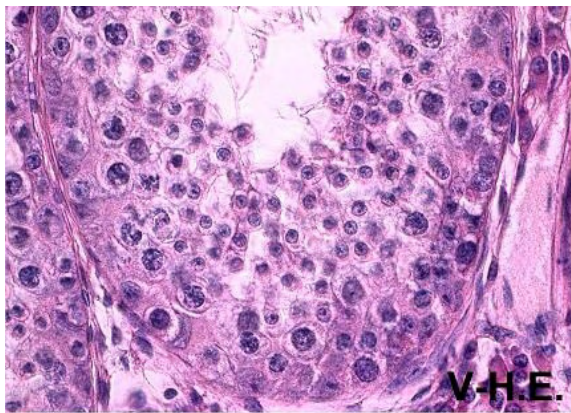


Abb. 46: Stadium V, VI, VII des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung (Pfeil: Ki-67 positive Spermatogonie), 400x

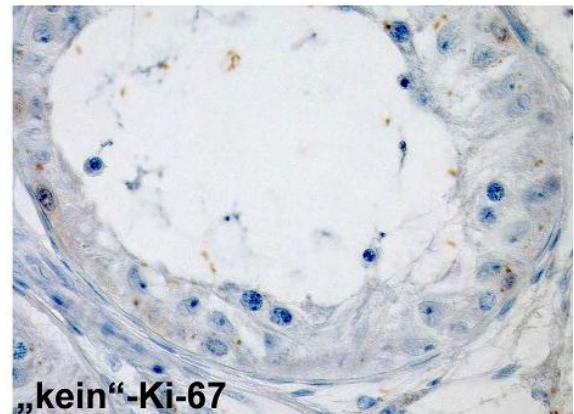
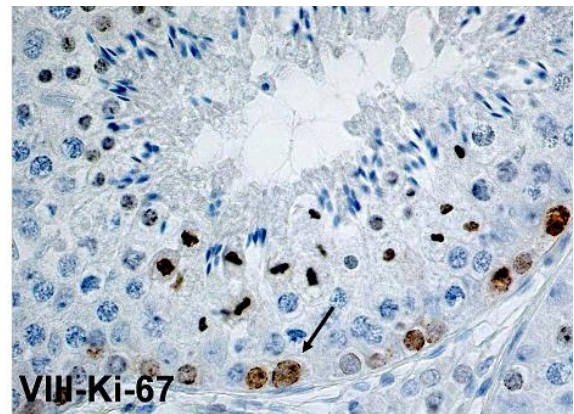
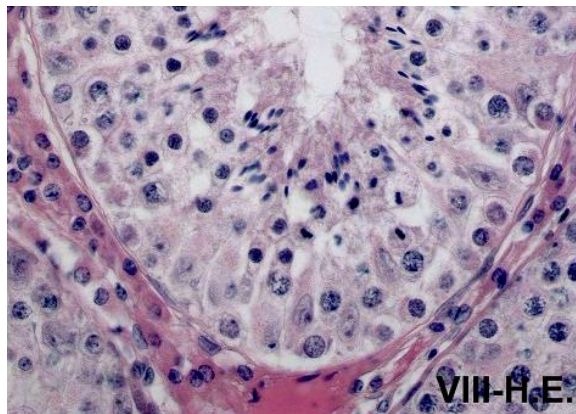


Abb. 47: Stadium VIII und „kein Stadium“ des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung (Pfeil: Ki-67 positive Spermatogonie), 400x

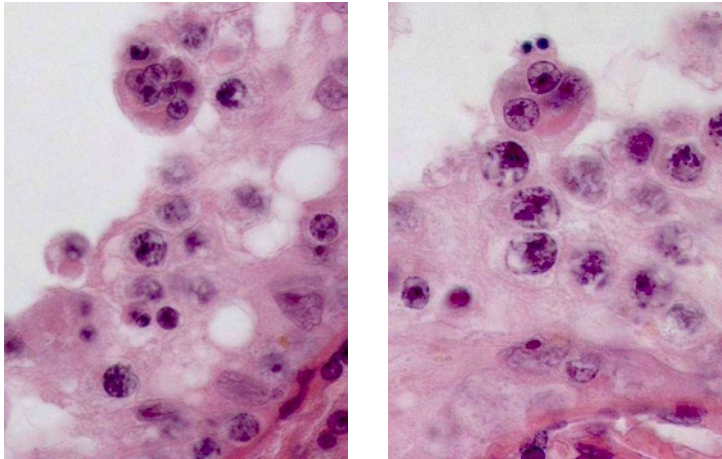


Abb. 48: Zwei Darstellungen einer H.E.-Färbung von mehrkernigen Riesenzellen im hitzegeschädigten Lamahoden, 400x



Abb. 49: Größenmessung der Hoden im Skrotum

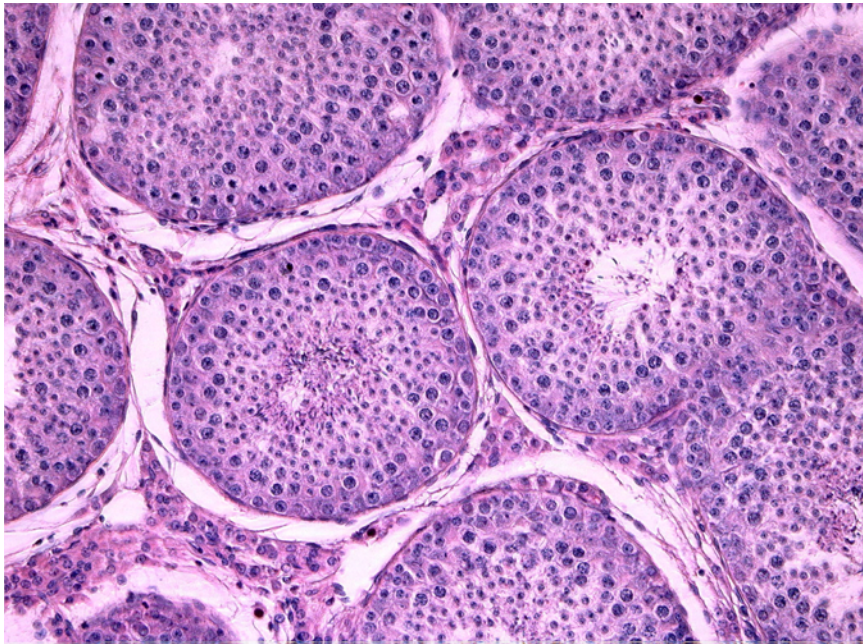


Abb. 50: H.E.-Färbung des physiologischen Lamahodens (Kontrollgruppe), 100x

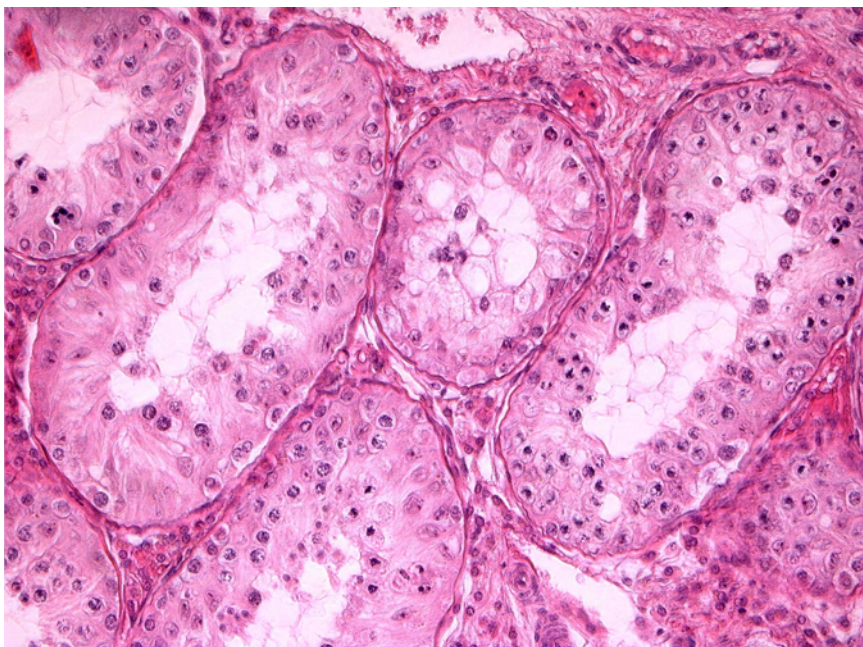


Abb. 51: H.E.-Färbung eines hitzegeschädigten Lamahodens (0 Wochen nach der Hitzephase von 30°C), 100x

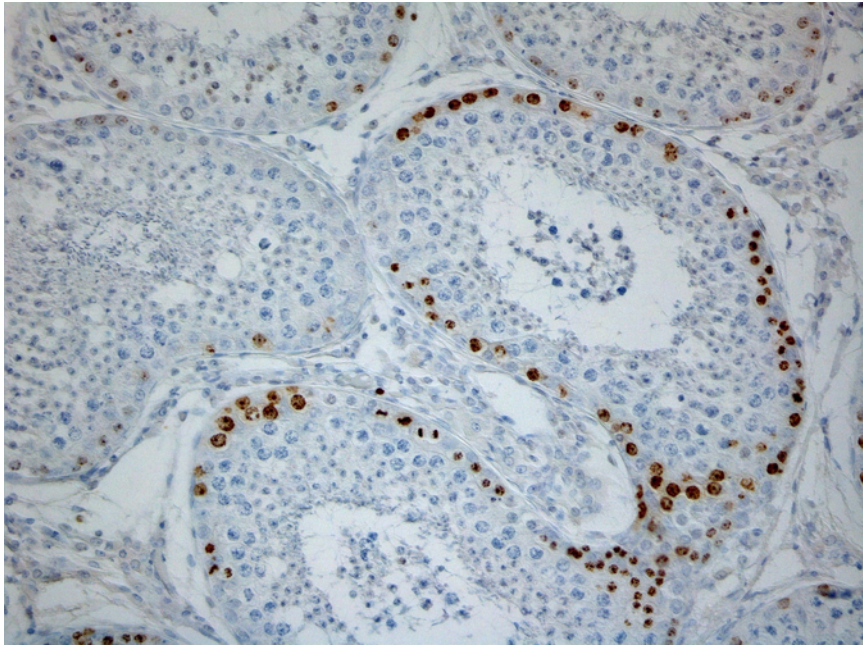


Abb. 52: Ki-67-Färbung des physiologischen Lamahodens (Kontrollgruppe), 100x

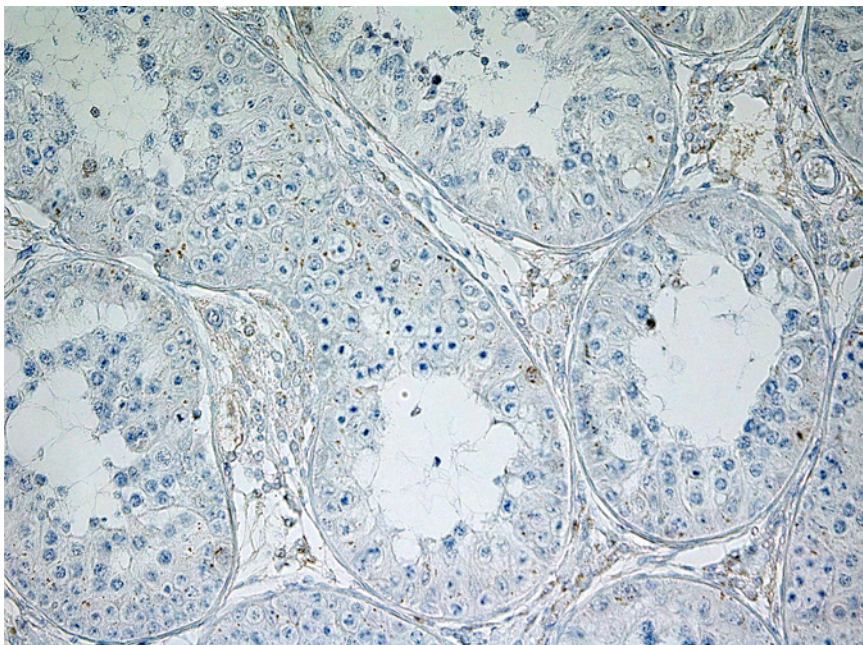
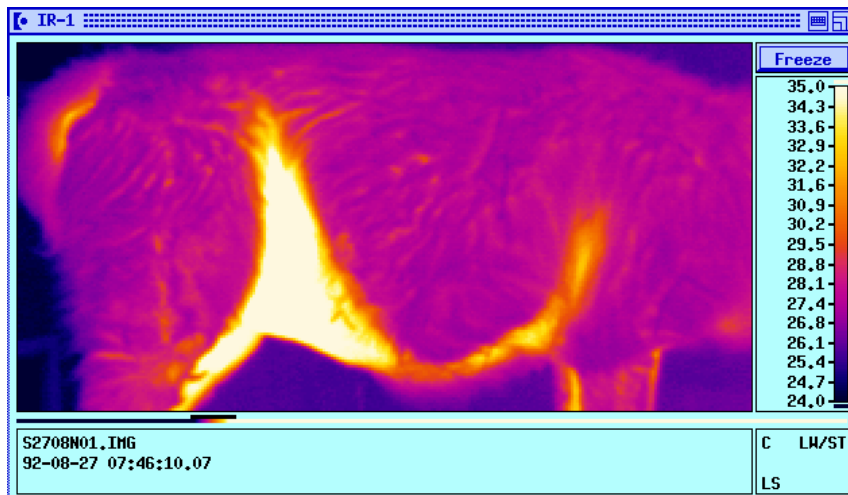
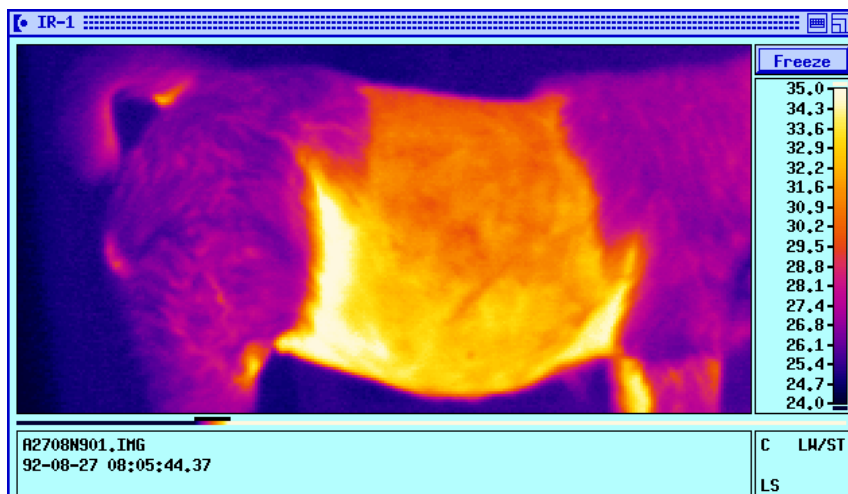


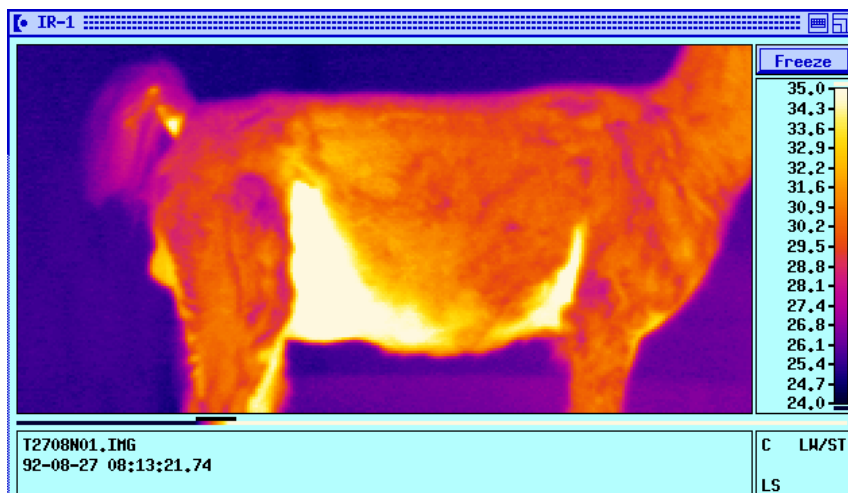
Abb. 53: Ki-67-Färbung eines hitzegeschädigten Lamahodens (0 Wochen nach der Hitzephase von 30°C), 100x



a)



b)



c)

Abb. 54: Thermographieaufnahme eines a) ungeschorenen b) halbggeschorenen c) vollgeschorenen Lamas

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Erhardt für die Überlassung des Themas, die gewährte Unterstützung und die konstruktive Kritik bei der Durchsicht des Manuskripts.

Besonders herzlich möchte ich mich bei Prof. Gauly für die Betreuung der Arbeit, die gute Zusammenarbeit und die immerwährende Unterstützung bedanken.

Danken möchte ich auch Frau Prof. Gerken für die Unterstützung dieser Arbeit durch die Bereitstellung ihrer Stallungen, Gerätschaften, Tiere und Mitarbeiter, sowie für ihre Gesprächsbereitschaft und ihr großes Interesse an Neuweltkameliden.

Herrn Prof. Bergmann und seinem Labor möchte ich danken für die nette und tatkräftige Unterstützung der Arbeit und die große Hilfe bei der Anfertigung und Auswertung der histologischen Präparate.

Für die Bereitstellung ihres Labors und für die Hilfe bei der Durchführung der Testosteronbestimmungen möchte ich mich bei Herrn Prof. Hoffmann und seinen Mitarbeitern bedanken.

Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle auch Frau A. Scheuermann und Frau T. Bauer für die große Hilfe bei den Hormonbestimmungen.

Herrn Dr. Brandt bin ich für die Geduld, die stets hilfsbereite Unterstützung bei der statistischen Aufbereitung der Daten und ein immer offenes Ohr sehr dankbar.

Insbesondere möchte ich mich auch bei Frau A. Scheuermann und Herrn J. Dörl für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und für die liebevolle Versorgung der Tiere bedanken.

Frau I. Müller-Arnke bin ich dankbar für die Auswertung der Verhaltensbeobachtungen im Rahmen ihrer Masterarbeit.

Danken möchte ich auch allen Tierbesitzern, insbesondere Familie Kraft, für die Bereitstellung ihrer Tiere und die gute Zusammenarbeit.

Abschließend möchte ich mich bei allen Mitarbeitern und Doktoranden des Instituts für Tierzucht und Haustiergenetik der Justus-Liebig-Universität Giessen und der Georg-August-Universität Göttingen bedanken, ohne die meine Doktorandenzeit nur halb so viel Spaß gemacht hätte.

Ich erkläre:

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.



édition scientifique

VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D - 35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN 3-8359-5073-8



9 783835 195073